

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Corso di Laurea Magistrale in GEOLOGIA E TERRITORIO

Relazione di Laurea

Caratterizzazione stratigrafica e paleontologica
della successione di primo sottosuolo del
Makgadikgadi Pan, Botswana.

Candidato: Paolo Malaspina

Relatore: Veronica Rossi
Correlatore: Fulvio Franchi
Correlatore: Prof. Stefano C. Vaiani

Sessione Marzo 2019
Anno Accademico 2018-2019

INDICE

RIASSUNTO.....	
1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO	1
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
2.1. Fasi evolutive del Makgadikgadi <i>Pan</i>	5
2.2 I <i>mound</i> dello Ntwetwe <i>pan</i>	9
3. MATERIALI E METODI	10
3.1 Lavoro di campagna.....	10
3.2 Analisi di laboratorio.....	17
4. RISULTATI	20
4.1 Unità litostratigrafiche.....	20
4.1.1 Unità litostratigrafica A	20
4.1.2 Unità litostratigrafica B	21
4.1.3 Unità litostratigrafica C	21
4.2 Ostracofauna.....	27
4.2.1 Ostracofauna con guscio a composizione calcitica.....	30
4.2.2 Ostracodi con guscio ricristallizzato.....	35
5. DISCUSSIONI	41
5.1. Interpretazione paleoambientale dei sedimenti di primo sottosuolo dello Ntwetwe <i>Pan</i>	41
5.1.1 Zona N (Fig. 1B) sondaggi NTWE2 (Fig. 20) e NTWE3 (Fig. 21).....	41
5.1.2 Zona NO (Fig. 1B) sondaggi RM5 (Fig. 22) e RM3 (Fig.23).....	42
5.1.3 Zona NE (Fig. 1B) sondaggi LUL (Fig. 24)	43
5.2 Evoluzione paleoambientale della parte settentrionale dello Ntwetwe <i>Pan</i>	44
6. CONCLUSIONI	46
BIBLIOGRAFIA	46
APPENDICE A	49
APPENDICE B	52

RIASSUNTO

L'oggetto di studio di questo lavoro rappresenta la successione di primo sottosuolo (ca. 3-4 metri) del bacino lacustre evaporitico del Makgadikgadi, situato nel distretto Nord-Est in Botswana, Africa. Questo bacino è quanto rimane di un antico lago, formatosi nel Plio-Pleistocene la cui evoluzione è stata direttamente interessata da processi tettonici e variazioni climatiche.

Il presente studio è focalizzato nel Ntwetwe Pan, uno dei laghi salati che compone il Makgadikgadi, dove sono state individuate ed analizzate particolari morfologie chiamate in letteratura "*mound*". Questi *mound* nel corso degli anni sono stati interpretati da vari autori come forme eoliche, morfologie di fondo lacustre o '*spring mound*' legati alla risalita di acque di falda. Ad oggi la loro vera genesi risulta essere ancora da definire e nessun lavoro ha investigato in dettaglio la loro stratigrafia.

Lo scopo di questo lavoro di tesi è l'analisi della stratigrafia del primo sottosuolo del Ntwetwe *Pan* per contribuire alla ricostruzione delle principali fasi evolutive recenti del lago, anche in relazione allo sviluppo dei *mound*. Per questo sono stati condotti 8 carotaggi sulla sommità di alcuni di questi *mound* fino alla profondità di 2 - 4 m con carotiere auger.

Una selezione di questi sondaggi (5 su 8) è stata studiata in termini stratigrafico-sedimentologici e del contenuto micropaleontologico, con particolare attenzione per la fauna ad ostracodi. I risultati ottenuti hanno consentito di individuare le unità litostratigrafiche componenti il primo sottosuolo della porzione settentrionale dello Ntwetwe *Pan* e di descriverne per la prima volta con un buon grado di dettaglio l'ostracofauna.

Lo studio delle carote ha infine portato alla creazione di una serie di log stratigrafici e alla individuazione delle recenti fasi di evoluzione deposizionale-paleoambientale dell'area in esame, all'interno del contesto generale ricostruito in letteratura per l'intero Makgadikgadi *Pan*.

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

Questo lavoro di tesi è nato da un progetto di collaborazione fra l'Università di Bologna e la Botswana International University of Science & Technology (BIUST) in Botswana nella città di Palapye, ed ha come oggetto di studio la successione di primo sottosuolo (ca. 3-4 metri) del bacino lacustre del Makgadikgadi, situato nel Distretto Nord-Est in Botswana (Fig. 1A).

Questo bacino è quanto rimane di un antico lago (*Lake Paleo-Makgadikgadi*, Grey and Cooke, 1977), formatosi nel Plio-Pleistocene (Moore et al., 2012) e che ora si presenta come il sistema di laghi salati (*pan*) più grande al mondo con una superficie di ca. 16.000 km² (Cooke and Verstappen, 1984).

Il Makgadikgadi Pan è suddiviso in diversi laghi salati fra i quali i maggiori sono lo Ntswetwe *Pan* ubicato nell'area occidentale e il Sua *Pan* ubicato in quella orientale (Fig. 1). Il presente studio è focalizzato nel Ntswetwe *Pan* (Fig. 1B), dove sono state individuate ed analizzate particolari morfologie chiamate in letteratura "*mound*" (e.g., Cooke, 1980; McFarlane and Long, 2015).

Nelle immagini satellitari questi *mound* risultano essere stratificati con una geometria concentrica data da alternanze di orizzonti di varie tonalità. Essi sono stati dapprima considerati come forme di fondo relitte del mega-lago Makgadikgadi (Cooke, 1980). Nel corso degli anni, ci sono state diverse interpretazioni da vari autori, inclusa una genesi dovuta a risalita di falda (e.g., McFarlane and Long, 2015), ma la loro vera genesi risulta essere ancora da definire e nessun lavoro ha investigato in dettaglio la loro stratigrafia. L'ubicazione dell'area di studio ha così reso necessaria un'analisi della letteratura esistente riguardante principalmente le dinamiche evolutive recenti (ovvero quaternarie) del Makgadikgadi Pan come riportato nel Capitolo 2.

Al fine di analizzare la stratigrafia del primo sottosuolo del Ntswetwe *Pan* e contribuire alla ricostruzione delle principali fasi evolutive recenti del lago, anche in relazione allo sviluppo dei *mound*, sono stati condotti sulla sommità di quest'ultimi 8 carotaggi fra i 2 e i 4 m di profondità per mezzo di un carotiere Auger.

Una selezione di questi sondaggi (5 su 8) è stata studiata in termini stratigrafico-sedimentologici e del contenuto micropaleontologico, con particolare attenzione agli ostracodi come descritto in Capitolo 4. La scelta di studiare in dettaglio e in modo quantitativo l'ostracofauna è dovuta al fatto che questi micro-crosteacei delle dimensioni dei granuli di sabbia (solitamente fra 400-1000 micron) sono generalmente abbondanti nei contesti lacustri, da dulciacquicoli a salati, e risultano essere ottimi indicatori (paleo)ambientali capaci di fornire indicazioni chiave sulla salinità e sul chimismo delle acque, nonché sulla batimetria (aree prossimali vs. aree distali) e sul tipo di substrato (De Deckker et al., 1988; Pint et al., 2015).

I risultati ottenuti hanno consentito di individuare le unità litostratigrafiche componenti il primo sottosuolo della porzione interna del Ntswetwe *Pan* e di descriverne per la prima volta con un buon grado di dettaglio l'ostracofauna (Capitolo 4). Lo studio delle carote ha infine portato alla creazione di una serie di log stratigrafici e alla individuazione delle recenti (probabilmente oloceniche) fasi di evoluzione deposizionale-paleoambientale dell'area in esame, all'interno del contesto generale ricostruito in letteratura per l'intero Makgadikgadi *Pan* (Capitolo 5). Il capitolo 6 riporta le principali conclusioni del presente lavoro di tesi magistrale.

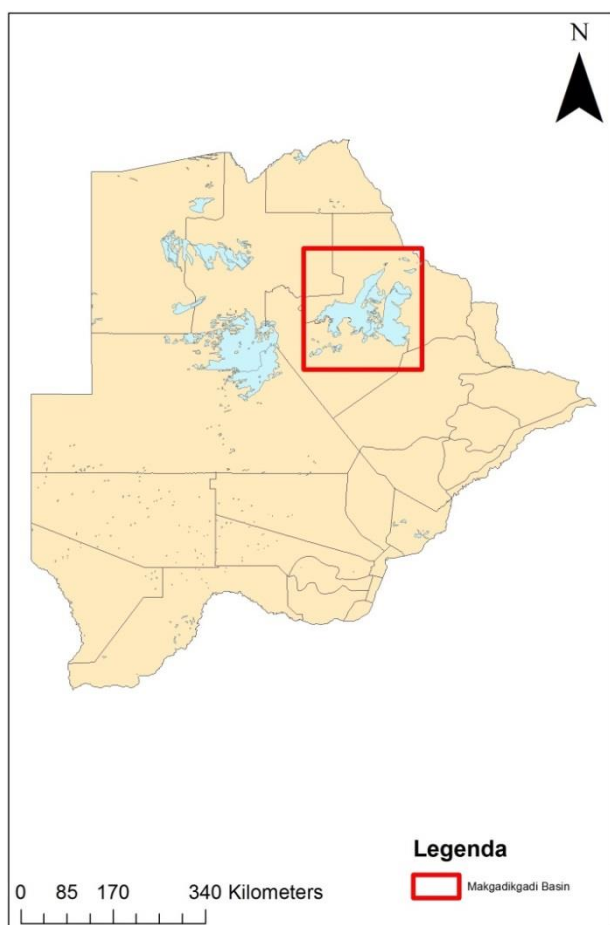


Figura 1A: Immagine satellitare ottenuta dalla piattaforma *online* Copernicus. Carta schematica del Botswana rappresentante i confini dei vari distretti e i maggiori bacini lacustri. L'area del Makgadikgadi *Pan* è evidenziata dal rettangolo rosso.



Figura 1B: Immagine satellitare ottenuta dalla piattaforma *online* Copernicus mostrante, il Makgadigadi *Pan* con le 3 aree di studio, evidenziate da rettangoli di diverso colore, situate nello Ntwetwe *Pan*.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La geologia di sottosuolo del Makgadikgadi *Pan* è caratterizzata dalla successione vulcanico-sedimentaria del Karoo Supergroup (Fig. 2). Le unità basali del Karoo Supergroup consistono in sedimenti glaciali della Dukwi Formation e dalle arenarie e argilliti Permiane del Gruppo Ecce (Catuneanu et al., 2005). Queste sono sovrastate dai sedimenti del Beaufort Group (Formazione Thlabala in Botswana), composto da argilliti datate Permiano superiore - Triassico inferiore. Le unità sommitali del Karoo appartengono al Lebung Group con depositi di arenaria formatosi dal Triassico medio al Giurassico inferiore-medio fra circa 201-166 Ma fa (Catuneanu et al., 2005). Nel bacino del Makgadikgadi sono inoltre presenti basalti datati al Giurassico inferiore (ca. 185 Ma) appartenenti al gruppo Stormberg Lava (Catuneanu et al., 2005). I sedimenti del Karoo sono attraversati da dicchi di dolerite orientati ESE-ONO (Jourdan et al., 2004). Molti di questi dicchi sono esposti lungo i margini del bacino e sono stati datati circa 187 Ma fa (Elburg and Goldberg, 2000).

I recenti depositi superficiali presenti in questa area appartengono alle così dette Kalahari Sands e, comprendono dune eoliche e depositi lacustri e fluviali.

Dal punto di vista tettonico i bacini lacustri Sua e Ntwetwe (*Sua Pan* e *Ntwetwe Pan*), sono in parte orientati lungo un *graben* terziario e occupano il punto più basso (890 m s.l.m.) nel Kalahari (Cooke, 1980).

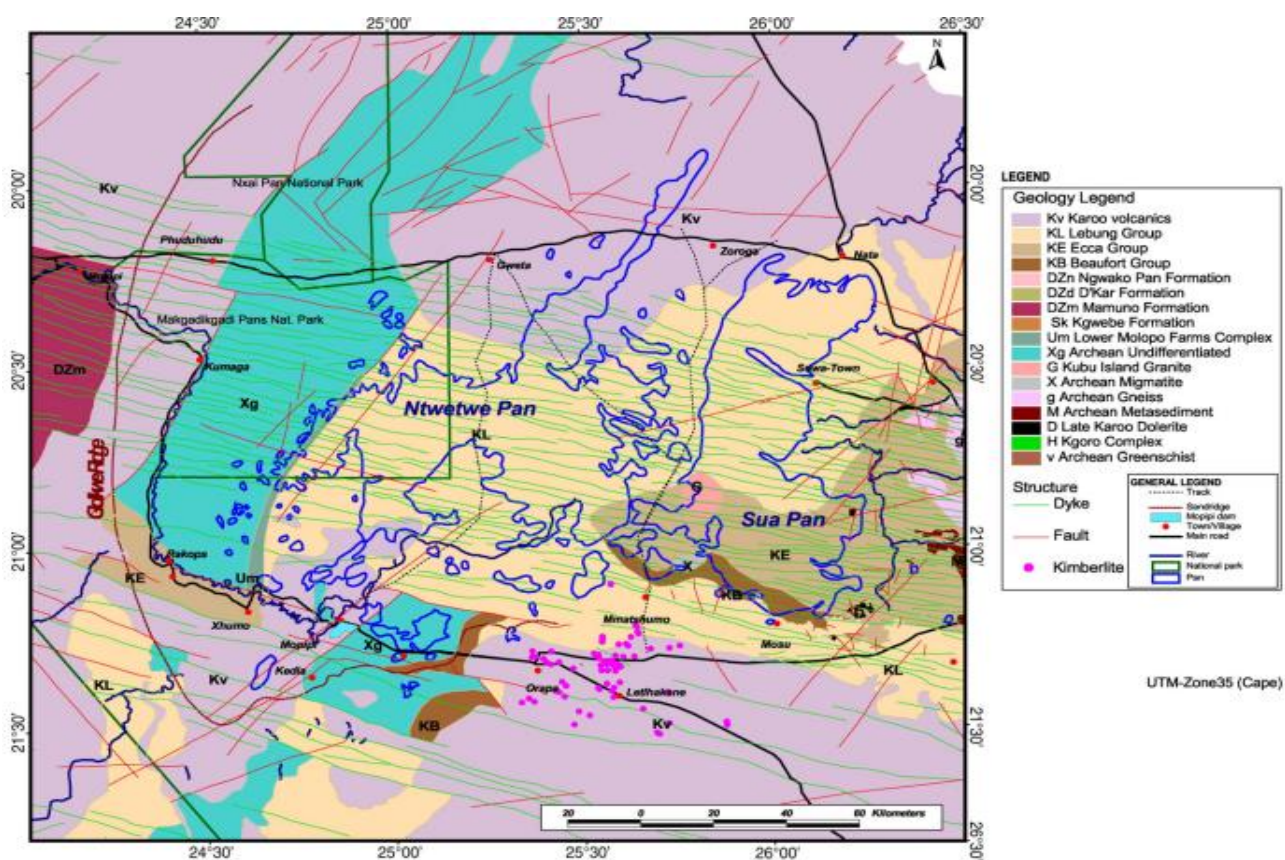


Figura 2: Carta geologica schematica del bacino del Makgadikgadi pan (Botswana Geological Survey, 2000).

2.1. Fasi evolutive del Makgadikgadi Pan

Durante il Quaternario il bacino del Makgadikgadi è stato, ed è tutt'oggi, occupato in modo intermittente da corpi lacustri. Sebbene la storia evolutiva del lago Makgadikgadi nel suo complesso sia ancora poco chiara, soprattutto per quanto riguarda le sue fasi più antiche, è ben documentato un andamento estremamente variabile del livello del lago soprattutto grazie all'identificazione di diverse paleo-linee di riva poste a quote distinte: 995 m, 945 m, 936 m, 920 m e 912 m s.l.m. (Fig. 3) e mappate tramite uno studio geomorfologico dell'area supportato da immagini satellitari (Burrough et al., 2009a; Moore et al., 2012; Riedel et al., 2014). Moore e colleghi hanno inoltre tentato di inquadrare cronologicamente tra il Pleistocene inferiore (da circa 2,2 a 1,8 Ma) e il Pleistocene medio queste paleo-linee di riva (corrispondenti di fatto a fasi di *highstand* del lago), collegandole a fasi di intensa riorganizzazione del drenaggio a scala regionale e connesse a specifiche fasi tettoniche.

Nello specifico, la tettonica attiva della Rift Zone di Okavango-Makgadikgadi, estensione sud-occidentale del East African Rift System (EARS) nel nord del Botswana con un sistema di faglie orientate NE-SO, è stata invocata come il principale motore di riorganizzazione della rete di drenaggio regionale (Moore and Larkin, 2001; Cotterill, 2003, 2004, 2005, 2006; Moore et al., 2011, 2012; Cotterill and de Wit, 2011).

Nel Pleistocene inferiore (da circa 2,2 a 1,8 Ma) il collegamento superiore di Chambeshi-Kafue è stato interrotto dal sollevamento dello spartiacque tra Congo e Zambesi, portando presumibilmente ad una caduta del livello del lago dai 990 (*Paleo-lake Deception*) ai 945 m s.l.m. del mega lago Makgadikgadi (Figg. 3-4) (Moore et al., 2012). Secondo gli stessi Autori, nel Pleistocene medio l'interruzione del precedente collegamento tra Kafue e Zambesi ha comportato un ulteriore calo del livello del lago fino alla quota di 936 metri s.l.m.

L'afflusso di acqua è declinato ulteriormente a seguito della formazione di un grande lago (Paleo-Lago Bulozzi) sul Fiume Zambesi superiore, provocando secondo Moore et al. (2012) una contrazione del lago Makgadikgadi fino alla quota di 920 m s.l.m. (Fig. 3).

La deviazione dello Zambesi superiore, avrebbe portato infine alla caduta del livello del lago ai 912 m.s.l.m. (Moore et al., 2012). Dal tardo Pleistocene (circa 100.000 anni fa) fino ai giorni nostri l'attivazione della faglia Thamalakane, che ha innescato la formazione del delta dell'Okavango e la deviazione del Fiume Boteti, sarebbe la principale causa del disseccamento del lago Makgadikgadi (Moore et al., 2012).

La storia evolutiva più recente è stata analizzata in dettaglio da un lavoro di *review* fatto da Burrough et al. (2009a) sui dati geomorfologici disponibili per il tardo Pleistocene-Olocene utilizzando una serie di datazioni OSL (*Optically Stimulated Luminescence*). Burrough e colleghi riconoscono 7 fasi di *highstand* (o fasi a mega-lago) durante gli ultimi 100.000 anni circa, 4 di queste avvenute a partire dai 50.000 anni fa suggerendo un ruolo centrale del clima piuttosto che della tettonica per le fluttuazioni più recenti. Un clima più freddo ridurrebbe infatti il tasso di evapotraspirazione che unitamente ad un maggior apporto di acqua dal fiume Okavango nel Makgadikgadi, dovuto ad un aumento delle precipitazioni connesso allo spostamento verso sud della ITCZ-*InterTropical Convergence Zone*, indurrebbe una fase di *highstand*. Questi vari momenti a mega-lago si sarebbero verificati negli ultimi 50.000 anni attorno a: 38.700 anni fa; 26.800 anni fa; 17.100 anni fa e 8500 anni fa (Burrough et al., 2009a).

Recentemente Riedel et al. (2014) hanno riesaminato numerosi dati geomorfologici, geologici e paleontologici con lo scopo di ricostruire le principali fasi evolutive del Makgadikgadi Pan per gli

ultimi 50-40.000 anni. Questi Autori propongono 4 paleogeografiche connettendole a 4 differenti paleo-quote del lago e a diversi periodi (Fig. 5). A tal proposito è interessante inoltre notare che gli Autori documentano al margine occidentale del Sua *Pan* la presenza in sottosuolo, a 3 metri di profondità circa, di un deposito sabbioso datato a circa 37.000 con metodo al radiocarbonio. Questi depositi, descritti in carota, registrerebbero la presenza di un ambiente lacustre marginale possibilmente sviluppatosi durante una fase di relativa caduta del livello del lago. Al di sopra di essi sono presenti circa 2,8 metri di sedimenti più fini (silt e sabbie fini) relativamente ricchi in materia organica interpretati come una fase lacustre con acque relativamente profonde. L'età di questi depositi più fini ed organici è però dubbia almeno per la porzione basale, in quanto la prima età disponibile a 2-1,8 m di profondità è di circa 4.700 anni. Il campione prelevato al tetto della successione carotata (fra 60-80 cm) è stato datato a circa 2000 anni.

Oggi il Makgadikgadi *Pan* riceve stagionalmente le acque di drenaggio alimentate dalle piogge locali ed è alimentato essenzialmente solo da fiumi effimeri provenienti da N e NE. Nello specifico il Sua *Pan*, con una superficie di 3400 km², è alimentato principalmente dal Fiume Nata e in tono minore dai fiumi Mosupe, Lepashe, Mosetse, Semowana (Fig. 6; Gray and Cooke, 1977). Lo Ntwetwe *Pan*, con un'estensione di 4700 km² è collegato al delta dell'Okavango attraverso il Fiume Boteti (Eckardt et al, 2008; Fig. 6) che di fatto rappresenta il principale corso d'acqua dell'intero *Pan*.

Dal punto di vista climatico attualmente l'area è caratterizzata da un clima arido, con una stagione secca che si estende da aprile a settembre, mentre la stagione delle piogge è compresa fra ottobre e marzo. I tassi di precipitazione variano drasticamente dalla stagione secca alla stagione delle piogge, con una piovosità media di 400 mm/anno (Ringrose and Materson, 2003), questo tasso di precipitazione è superato dai tassi di evapo-traspirazione di un fattore da 1 a 3 (Bhalotra et al., 1987).

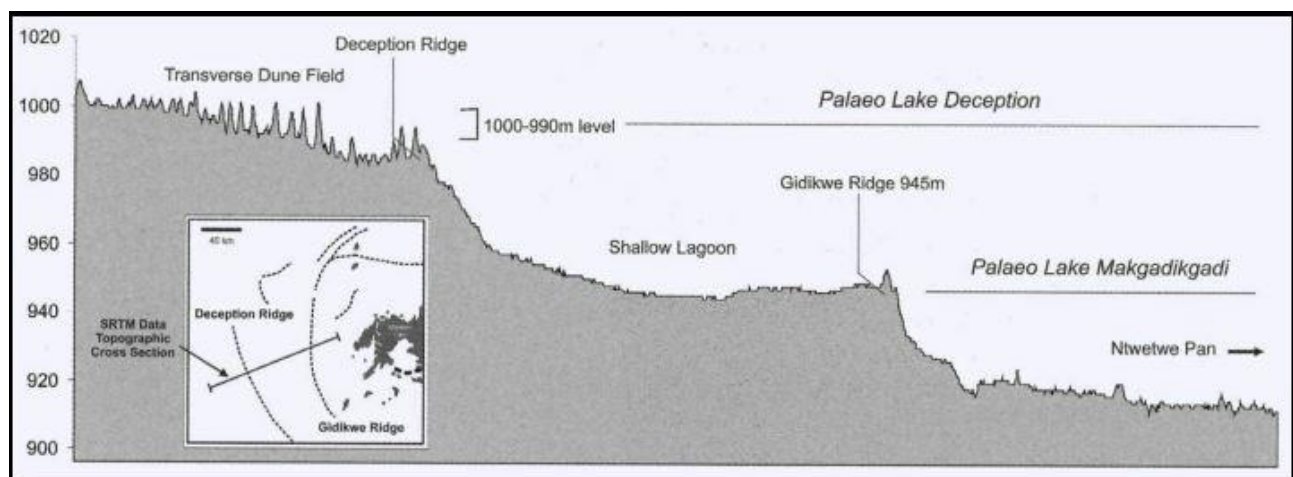


Figura 3: Sezione trasversale (ESE-ONO) della sponda occidentale del paleo-mega-lago Makgadikgadi. L'immagine evidenzia le diverse paleo-linee di riva del (Moore et al., 2012).

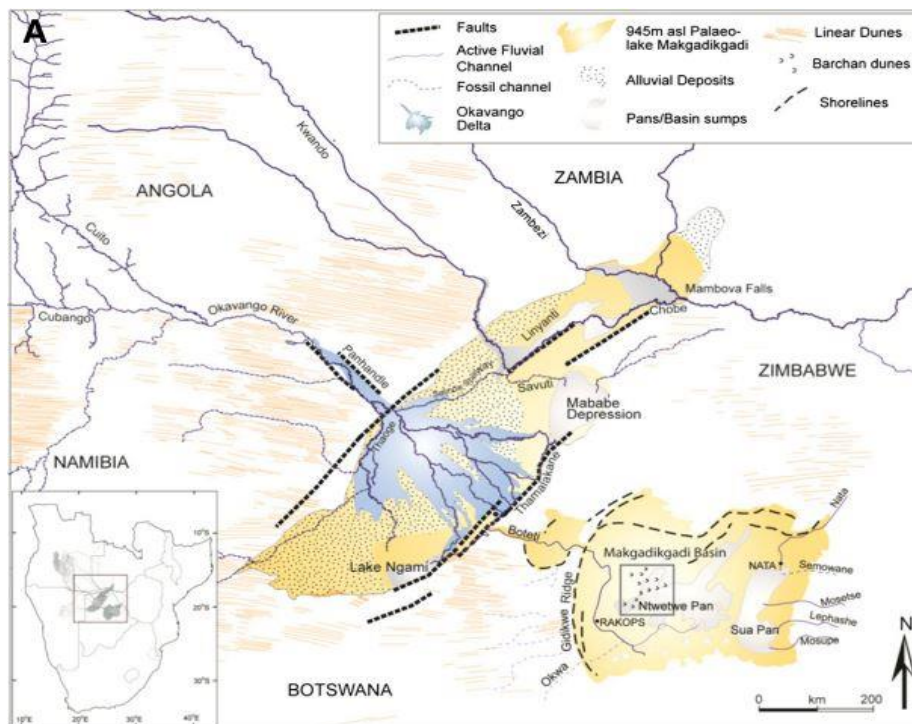


Figura 4: Carta schematica mostrante le principali strutture tettoniche e geomorfologiche nell'area Okavango-Makgadikgadi. L'immagine evidenzia le faglie attivate dalla Rift Zone Okavango-Makgadikgadi, i *graben* e depositi relativi a diverse fasi evolutive del bacino (da Borrough et al., 2012).

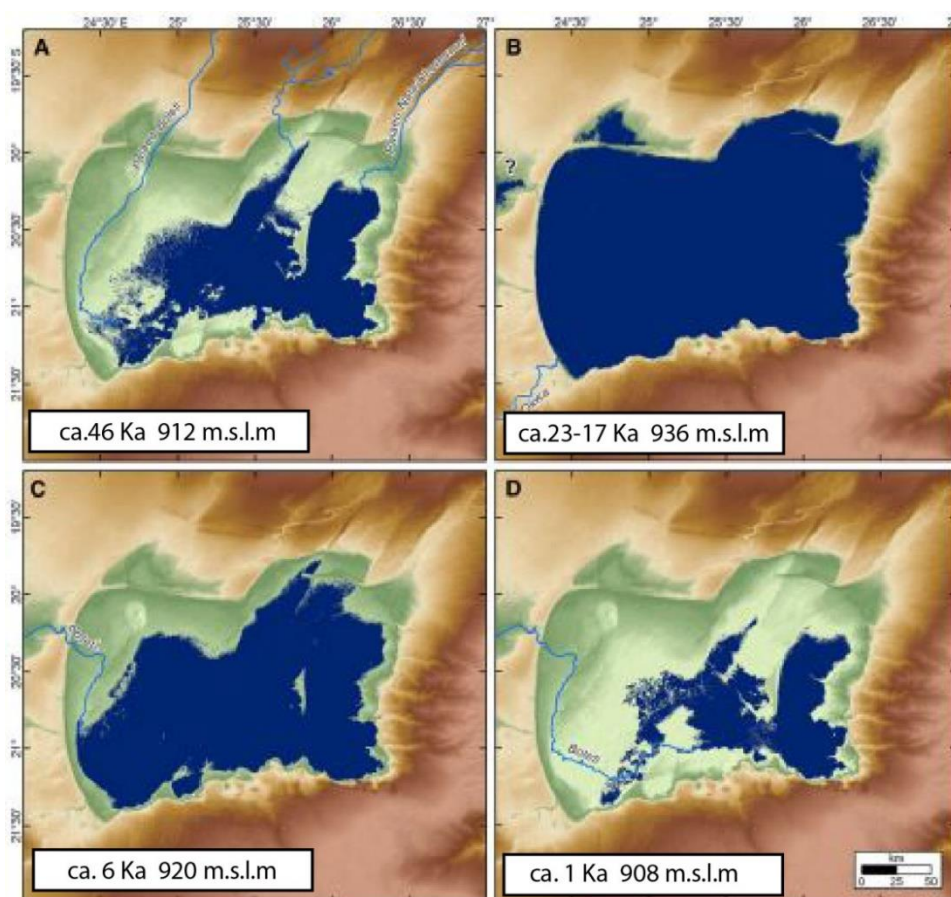


Figura 5: Ricostruzione dell'evoluzione del bacino del Makgadikgadi (da Riedel et al, 2014).

2.2 I mound dello Ntwetwe pan

Il margine settentrionale del Ntwetwe *Pan*, dove si concentra lo studio dei depositi di primo sottosuolo di questa tesi (Figg. 1B, 7), è caratterizzato da peculiari morfologie positive, dette *mound*, più o meno vegetate. Questi *mound* hanno forme che vanno da circolari, a *barchan* (a barcana) o sinuoso-allungate (McFarlen and Long, 2015; Fig. 7). Dalle immagini satellitari i *mound* mostrano un aspetto “stratificato” dato da alternanze di intervalli più chiari ed intervalli più scuri (Fig. 7). La loro altezza è piuttosto limitata e varia molto da *mound* a *mound*. Pur essendoci un gruppo di *mound* che si ergono fra i 5-9 metri sopra il livello del pan, il quale ha una quota di circa 905 m.s.l.m., la maggior parte di loro mostra un’altezza inferiore al metro (McFarlen and Long, 2015). E’ interessante notare che le forme a *barchan* sono più abbondanti lungo i margini del bacino, mentre le forme circolari sono più rappresentate verso il centro del bacino (Fig. 7).

L’origine dei *mound* è ancora oggi piuttosto dibattuta, sono stati infatti interpretati su base esclusivamente morfologica sia come forme di fondo relitte di una fase a mega lago pleistocenica del Makgadikgadi (Cooke, 1980), sia come dune *barchan* quindi corpi di origine eolica presumibilmente formatesi durante fasi aride con un livello del lago basso (Borrough et al., 2009).

Recentemente McFarlen and Long (2015) hanno ipotizzato che essi siano in realtà degli *spring mounds* formatesi durante una fase climatica più umida di quella attuale.



Figura 7: Immagine satellitare della parte settentrionale dello Ntwetwe *Pan*. Il quadrato nero mostra un’area caratterizzata da *mound* isolati, stratificati in geometria concentrica con alternanze di strati più chiari e più scuri. Fonte Google Earth.

3. MATERIALI E METODI

I sedimenti discussi in questa tesi sono stati acquisiti durante una campagna di rilevamento e campionatura durata 20 giorni nel Ntwetwe *Pan* nell'agosto 2018. Questa attività è stata condotta in collaborazione con lo studente Ruairidh Mackay nell'ambito di un progetto di stratigrafia e geologia planetaria con la supervisione del correlatore Dr. Fulvio Franchi, docente di Sedimentologia e Stratigrafia al BIUST.

Il lavoro di laboratorio effettuato sulle carote di sedimento comprende: analisi stratigrafica; analisi granulometriche; analisi micropaleontologiche finalizzate principalmente allo studio della fauna ad ostracodi. L'attività in laboratorio è stata condotta in parte al BIUST e in parte presso il Dipartimento BiGeA dell'Università di Bologna.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte in dettaglio le attività di campagna e di laboratorio.

3.1 Lavoro di campagna

Il lavoro di campagna si è concentrato in tre zone lungo il margine settentrionale del Ntwetwe *Pan* (Figg. 1B, 7), scelte poiché caratterizzate dalla presenza di particolari *mound* circolari e sostanzialmente diverse da altre zone e dai margini caratterizzati da forme tipo dune "*barchan*" (vedi paragrafo 2.2).

I siti per i carotaggi sono stati scelti integrando uno studio dettagliato di fotografie satellitari dell'area con tre giorni di rilevamento preliminare nel *pan* nel Luglio 2018. Sono stati quindi eseguiti 8 carotaggi utilizzando un carotiere a percussione Auger munito di aste per l'avanzamento in profondità.

Per quanto riguarda la zona NO (Fig. 1B), le coordinate e le quote GPS dei carotaggi, corrispondenti al top dei relativi *mounds* sono le seguenti (Fig. 8):

(RM5) S 20.56294 – E 25.13959; Elevazione 906 m; profondità sondaggio 3,85 m

(RM4) S 20.55987 – E 25.15214; Elevazione 902 m; profondità sondaggio 1,60 m

(RM3) S 20.55422 – E 25.16474; Elevazione 905 m; profondità sondaggio 3,10 m

(RM2) S 20.54898 – E 25.17254; Elevazione 904 m; profondità sondaggio 2,80 m

Per quanto riguarda la zona N, le coordinate e le quote GPS dei carotaggi, corrispondenti al top dei relativi *mound* sono le seguenti (Fig. 9):

(NTWE1) S 20.48426 – E 25.40919; Elevazione 897 m; profondità sondaggio 1,35 m

(NTWE2) S 20.48149 – E 25.40825; Elevazione 905 m; profondità sondaggio 1,35 m

(NTWE3) S 20.47986 – E 25.40849; Elevazione 905 m; profondità sondaggio 1,95 m

Per quanto riguarda la zona NE, le coordinate e la quota GPS del carotaggio, corrispondente al top del *mound* sono le seguenti (Fig. 10):

(LUL) S 20.65400 - E 25.57056 Elevazione 889 m; profondità sondaggio 1,95 m.

Le immagini di dettaglio dei *mounds* sui quali sono stati eseguiti i carotaggi RM5, NTWE3 e LUL sono riportate nelle figure 11, 12 e 13.

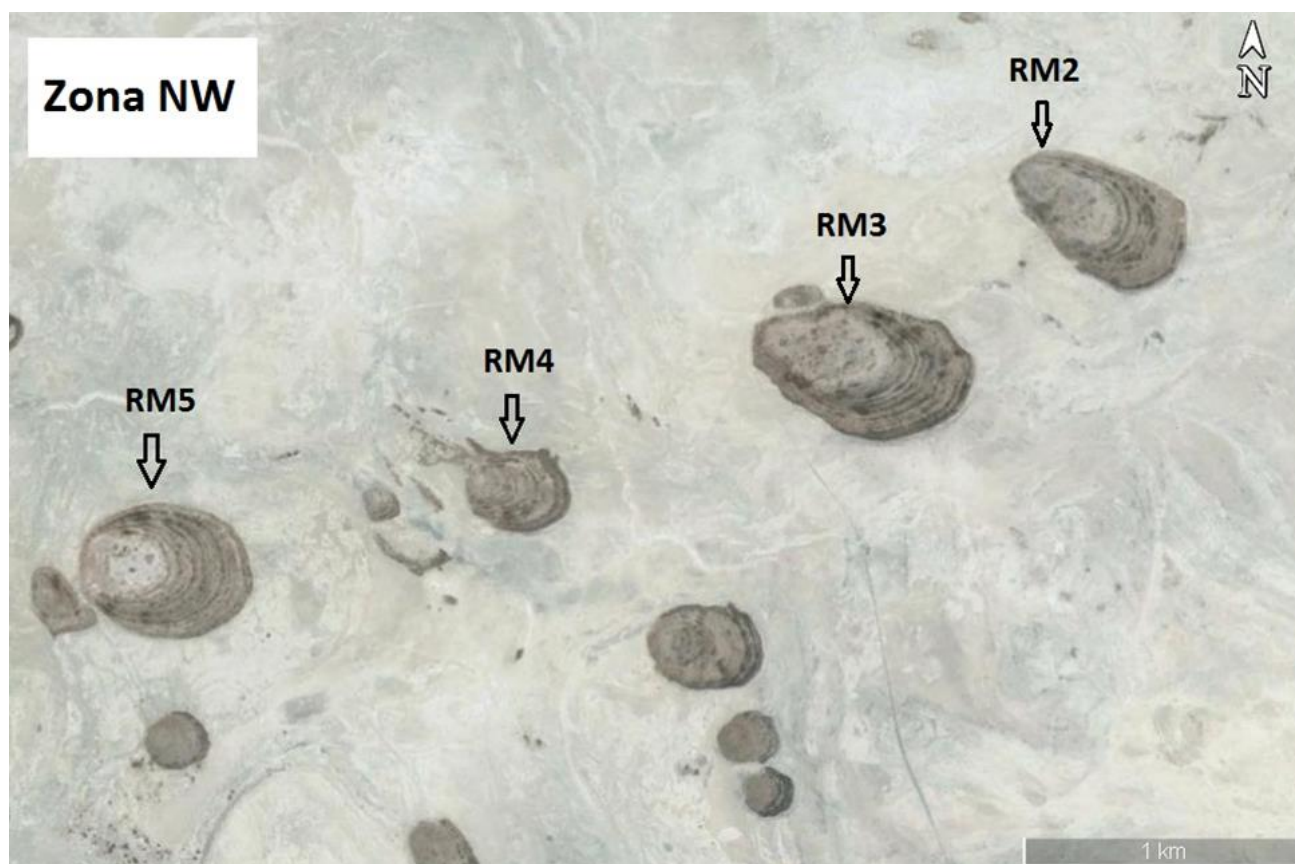


Figura 8: Immagine satellitare mostrante l'ubicazione dei sondaggi RM5, RM4, RM3, RM2 nella Zona NO con coordinate 20°33'19.29"S 25° 9'19.51"E (poligono rosso della Figura 1B). Fonte Google Earth

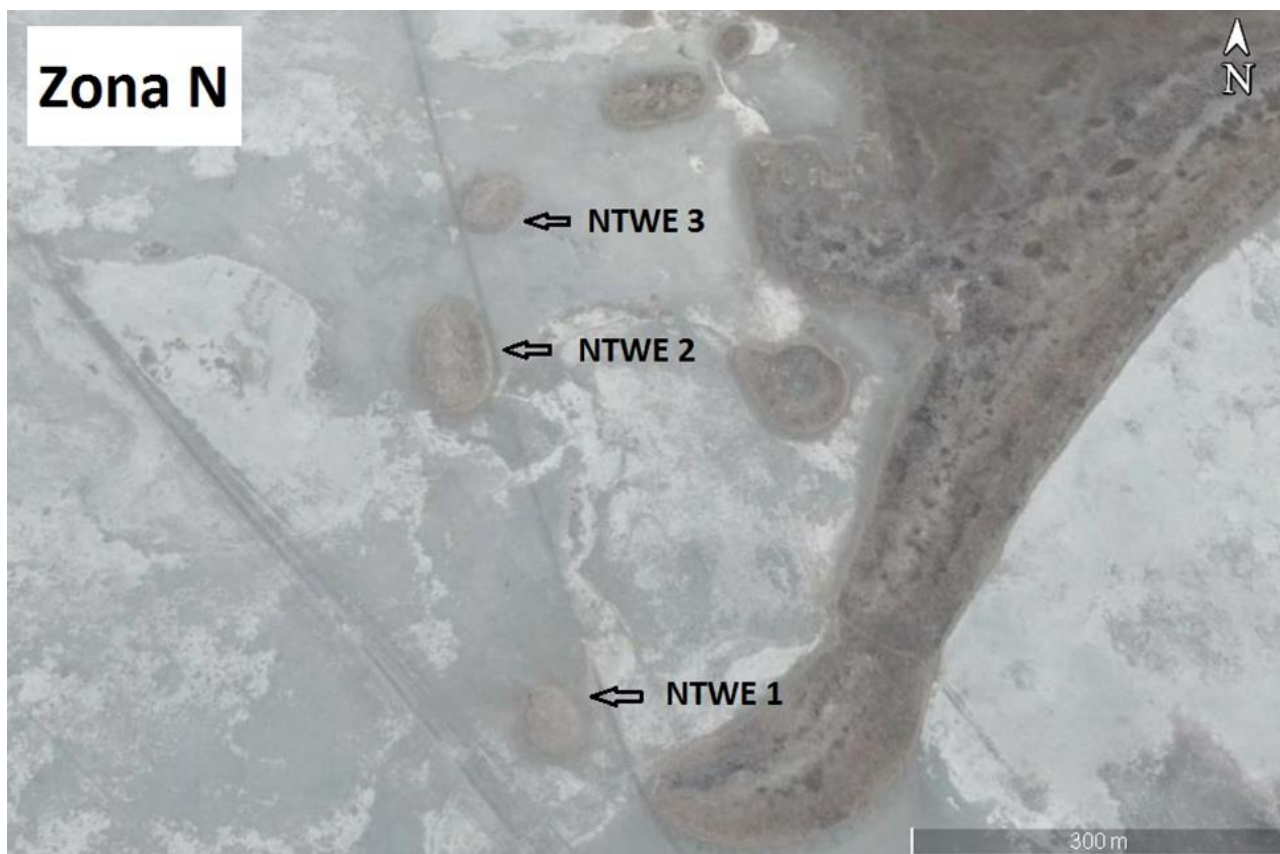


Figura 9: Immagine satellitare mostrante l'ubicazione dei sondaggi Ntwe1, Ntwe2, Ntwe3 nella Zona N con coordinate 20°28'51.85"S 25°24'35.86"E (poligono viola della Figura 1B). Fonte Google Earth.



Figura 10: Immagine satellitare mostrante l'ubicazione del sondaggio LUL nella Zona NE con coordinate 20°65'40.0" S 25°57'05.6" E (poligono giallo della Figura 1B). Fonte Google Earth.

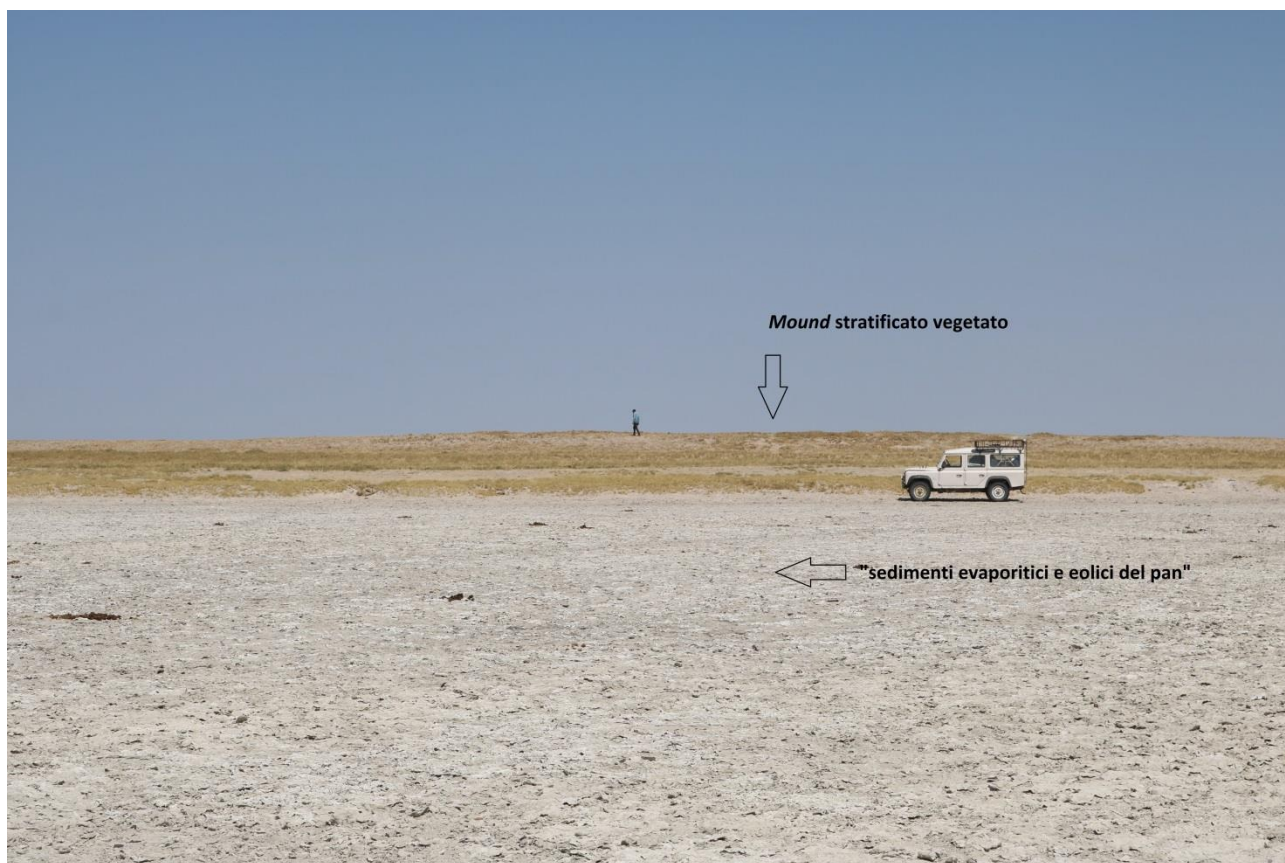


Figura 11: Fotografia del *mound* RM5 nella Zona NO (Fig. 1B).



Figura 12: Fotografia del *mound* NTWE 3 nella Zona NO (Fig. 1B).



← Mound stratificato,
sono visibili livelli scuri di argilla
e livelli chiari di sabbia-limosa.

← "sedimenti evaporitici ed eolici del pan"

Figura 13: Fotografia del *mound* LUL nella Zona NE (Fig. 1B).

Il carotiere Auger utilizzato permette di ottenere carote di 20 cm e dispone di 5 aste di acciaio di 1 metro ciascuna, avvitabili alla base del carotiere per raggiungere profondità progressivamente maggiori (Fig. 14-15). Il peso per far scendere il carotiere e le relative aste in profondità è dato da un maglio collocato nella parte superiore dello strumento. Questo tipo di carotiere non riesce a perforare materiali molto induriti e/o sabbiosi e a garantire una buona percentuale di recupero per materiali sciolti come la sabbia priva di una componente limosa o comunque privi di un sufficiente grado di coesione.



Figura 14: Fotografia del carotiere Auger con 3 aste avvitate. A destra si osservano i *liner* in PVC contenenti le carote di sedimento di 15-20 cm e i sacchetti contenenti il sedimento disturbato del *nose* e della trivella per i 50-60 cm superficiali (carotaggio RM5).



Figura 15 : Fotografia del carotiere Auger.



Figura 16: Veduta del cantiere con a sinistra la trivella, a destra il foro di sondaggio e *liner* in PVC con campioni di sedimento.

Nelle zone esaminate, i 50-60 cm più superficiali della successione sono caratterizzati da depositi che presentano una coesione non sufficiente per essere prelevati con il carotiere. Questi intervalli sono stati perciò recuperati con una trivella (Fig. 16) che permette il prelievo di 10 cm alla volta. Il recupero di sedimento sciolto effettuato con la trivella è evidentemente disturbato, tuttavia il materiale recuperato è stato campionato e posizionato in sacchetti di plastica per le analisi in laboratorio.

Per quanto riguarda la parte di recupero più consistente, effettuata con il carotiere, questa è composta da una successione di carote di 20 cm di spessore dei quali i 15 cm superiori sono posti entro un involucro di plastica (*liner*) e sono sostanzialmente indisturbati. Al contrario i restanti 5 cm sono al di fuori dall'involucro e si collocano nella parte finale del porta-carotiere in metallo (*nose*) (Fig. 17). Questi 5 cm sono costituiti da sedimenti parzialmente disturbati dalla manovra, ad ogni modo sono stati comunque campionati e posti in sacchetti di plastica al fine di osservare il tipo di sedimento e per eventuali successive analisi in laboratorio.



Figura 17: Fotografia del carotiere di 20 cm, si osservano sia la porzione della carota indisturbata entro il *liner* di 15 cm e i restanti 5 cm di sedimento posti al di fuori dell'involucro (*nose*).

3.2 Analisi di laboratorio

La prima parte dell'attività di laboratorio è stata svolta presso la facoltà di Ingegneria e il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente al BIUST e ha riguardato l'apertura dei *liner* contenenti le carote di sedimento. Questi sono stati aperti per mezzo di una sega meccanica; successivamente la carota cilindrica di sedimento è stata sezionata in senso verticale con un filo metallico. Una delle due parti ottenute è stata avvolta con una pellicola di cellophane e archiviata; l'altra parte è invece stata descritta e campionata.

Per quanto riguarda la descrizione visiva delle carote, localmente eseguita con l'ausilio di una lente 10x, sono state considerate in particolare le seguenti caratteristiche: granulometria del sedimento e limiti fra i vari passaggi litologici, presenza di strutture sedimentarie, presenza di materiali accessori quali concrezioni, resti vegetali e frammenti di legno, gusci di molluschi e/o frammenti di gusci (Fig. 18).

Dopo aver descritto le otto carote, due carote della zona NO e una della zona N (Fig. 1B) sono state selezionate per una campionatura di dettaglio (un campione ogni 3 cm), scegliendo quelle che presentavano un migliore recupero: RM3, RM5 (Fig. 8) e NTWE3 (Fig. 9). Nelle restanti 5 carote è stato prelevato un campione ogni 7,5 cm di successione.

Le prime analisi eseguite sui campioni di otto sondaggi, sono state quelle granulometriche (Appendice A), svolte su 325 campioni tramite un granulometro Mastersizer della Malvern disponibile presso i laboratori del BIUST, su una frazione di campione di circa 2 - 3 grammi.

Successivamente, sempre presso i laboratori del BIUST, una porzione di circa 20-25 gr è stata sub-campionata dai medesimi 325 campioni di sedimento per le analisi micropaleontologiche seguendo un trattamento "standard" (Fig. 19; Keatings et al., 2007) che prevede le seguenti fasi:

- 1) diluizione del campione in acqua distillata entro un *becker* di vetro;
- 2) setacciatura ad umido del campione attraverso un setaccio con maglie di 63 micron, al fine di rimuovere la frazione più fine non contenente ostracodi;
- 3) filtraggio con una carta filtro della frazione maggiore di 63 micron per rimuovere l'acqua in eccesso;
- 4) asciugatura in forno del campione per 8 ore a 40 gradi;
- 5) setacciatura a secco attraverso un setaccio con maglie di 125 micron. Le frazioni maggiori e minori di 125 micron sono state poste in sacchetti separati per le successive analisi al microscopio.

I risultati riportati in questa tesi comprendono esclusivamente le carote RM3, RM5, NTWE2, NTWE3 e LUL. Per questo lavoro di tesi le analisi micropaleontologiche sono state eseguite su 51 campioni distribuiti in 5 carotaggi sulle 3 zone in esame (Fig. 1B), privilegiando quelli che mostravano un miglior recupero e maggiori variazioni granulometriche lungo la stratigrafia. In particolare sono stati scelti 2 carotaggi nella zona NO (RM3, RM5); 2 nella zona N (NTWE2, NTWE3) e il carotaggio LUL nella zona NE. Nel sondaggio NTWE3 e NTWE2 i campioni sono stati presi nei livelli basali e sommitali di ogni differenti unità litologica. Per il sondaggio RM5 e RM3 i campioni sono stati presi nei livelli più fini e in quelli più sabbiosi. Per il sondaggio LUL i campioni sono stati prelevati nei livelli più fini.

Per ognuno di questi 5 sondaggi è stato realizzato un log digitalizzato tramite un *software* di grafica, integrando l'analisi visiva delle carote con le analisi granulometriche (Figg. 20-24). I dati derivanti dal granulometro sono riportati in Appendice A.

Le analisi micropaleontologiche sono state eseguite presso i laboratori del BiGeA dell'Università di Bologna e sono state precedute da un'ulteriore setacciatura a secco dei campioni attraverso una pila di setacci a maglie di 1000, 355 e 250 micron, finalizzata ad ottenere frazioni granulometricamente più omogenee e quindi facilitare l'operazione di *picking* degli ostracodi allo stereoscopio. Il *picking* dei gusci (2 valve unite) e delle valve di ostracodi presenti nei campioni è stato eseguito sulla frazione maggiore di 250 micron, dove si concentrano gli individui adulti che rispetto alle mute giovanili sono di attribuzione tassonomica più certa. Laddove presenti sono stati prelevati dai campioni anche *oogoni* di *Characee* e gusci e frammenti di gasteropodi.

La fauna ad ostracodi di ogni campione, conservata in appositi *slides*, è stata successivamente analizzata quantitativamente distinguendo le diverse forme presenti e contando non gli individui ma le valve (1 guscio=2 valve). L'attribuzione tassonomica delle forme è stata eseguita dalla Dott.ssa Rossi tramite l'ausilio di analisi (foto) al SEM (*Scanning Electron Microscope*) Jeol JSM-5200 e una serie di lavori di riferimento per gli ostracodi non marini, principalmente Henderson (1990) e Martens and Savatnalinton (2011).

La distribuzione quantitativa degli ostracodi nei 51 campioni analizzati è riportata in Appendice B. L'interpretazione paleoecologica delle faune ad ostracodi osservate è stata effettuata facendo particolare riferimento alle pubblicazioni relative alle ostracofaune attuali e quaternarie di alcuni fra i maggiori laghi africani, quali il Lago Megachad in Chad (Bristow et al., 2018), il Lago Malawi (Park and Cohen, 2011) e il Lago Zwai in Etiopia (Martens and Tudorancea, 1991), e le aree umide del Sud Africa (Martens et al., 1986).

Sono state infine eseguite analisi SEM-EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) utilizzando un JSM-5400 *scanning microscope-IXRF* Systems Iridium EDS system, su 2 esemplari dell'ostracofauna, al fine di verificare seppur in modo preliminare la composizione del guscio.

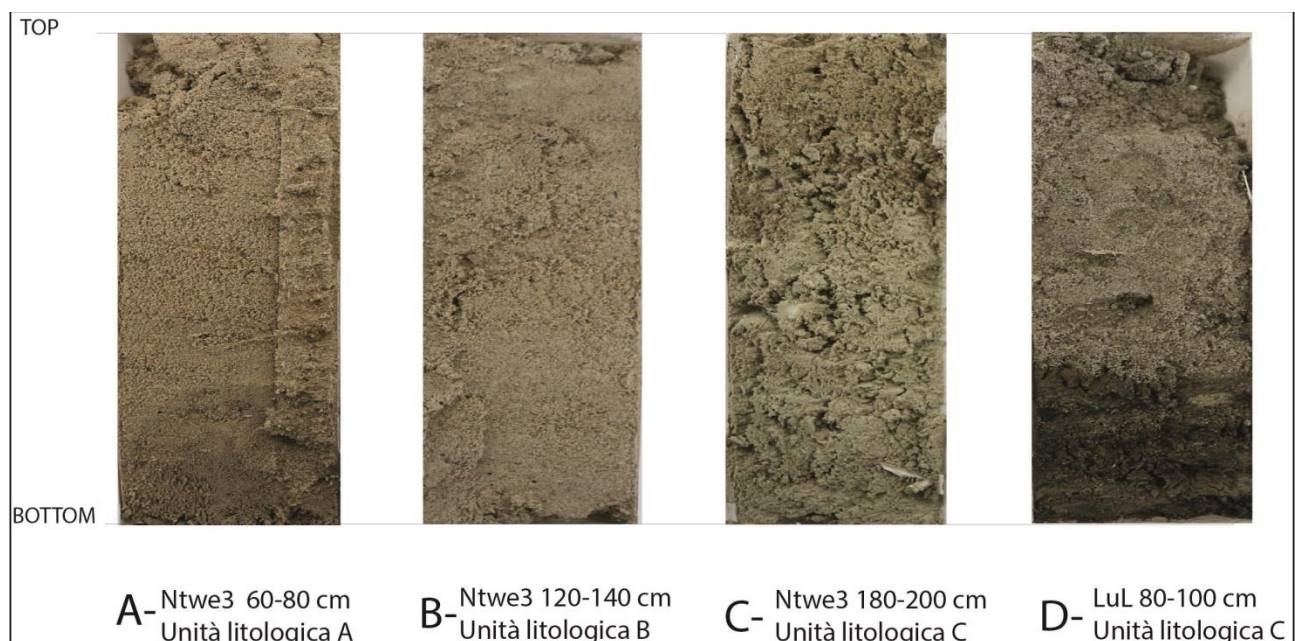


Figura 18: Nell'immagine vengono mostrate 4 carote relative alle 3 unità litostratigrafiche. La carota (A) è relativa all'unità litologica (A), la carota B è relativa all'unità litologica (B), la carota C è relativa all'unità (C) contenente un fango di colore più chiaro rispetto alla carota D che è relativa all'unità litologica (C) con un fango di colore grigio scuro.



Figura 19: Nell'immagine possiamo osservare alcuni strumenti usati in laboratorio, quali setacci di varie misure, *becher* e filtri di carta, per la preparazione dei campioni per le analisi micropaleontologiche.

4. RISULTATI

In questo capitolo sono presentati i dati ottenuti dall'analisi sedimentologica e micropaleontologica di 5 sondaggi scelti come riferimento per le 3 aree studio (paragrafo 3.1; Fig. 1B).

In particolare sono di seguito (paragrafo 4.1) descritte le unità litostratigrafiche identificate nel primo sottosuolo della porzione settentrionale del Ntwetwe *Pan*, sulla base dell'integrazione dei dati derivanti dalla descrizione visiva delle carote di sedimento con i dati ottenuti dalle analisi granulometriche. Nel successivo paragrafo 4.2 sono presentati i dati relativi al contenuto in ostracodi della successione sedimentaria in esame; particolare enfasi è stata data alla ostracofauna in quanto questo lavoro di tesi rappresenta il primo lavoro di dettaglio sugli ostracodi dell'area del Ntwetwe *Pan*.

L'integrazione del dato sedimentologico e micropaleontologico in senso stratigrafico sarà invece presentato nel Capitolo 5, unitamente ad un'interpretazione in chiave evolutiva deposizionale-paleoambientale.

4.1 Unità litostratigrafiche

Sono state riconosciute 3 principali unità litostratigrafiche (unità A, B e C) nei primi 4 metri di sottosuolo. Esse sono di seguito descritte evidenziando le caratteristiche sedimentologiche (i.e., granulometria ed eventuali trend granulometrici, colore, materiali accessori), lo spessore e la loro presenza (o meno) nei siti investigati (Fig. 18).

4.1.1 Unità litostratigrafica A

Questa unità è composta da sabbie fine limose-limi sabbiosi di colore marrone-marrone chiaro, localmente laminati e con livelli millimetrici in sabbia fine-media (Fig. 18 carota A). Sono presenti filamenti vegetali, concrezioni sparse e gasteropodi con guscio liscio e parzialmente rotto oltre a frammenti di essi.

L'analisi granulometrica evidenzia la dominanza della frazione in sabbia molto fine e sabbia fine (circa 50-60%) con una ragguardevole percentuale in silt (nettamente prevalente fra i fini) ed argilla (silt + argilla mostrano percentuali comprese solitamente fra il 15-25%). Localmente sono presenti picchi in silt + argilla del 30-35%. La frazione corrispondente alla sabbia media mostra in generale una percentuale paragonabile a quella del silt + argilla, mentre le frazioni più grossolane sono scarsamente rappresentate con percentuali solitamente inferiori al 5%, ad eccezione del sondaggio LUL-zona NE dove possono localmente raggiungere il 10-15% circa. Il fitto passo di campionamento utilizzato per le analisi granulometriche (paragrafo 3.2) consente di apprezzare all'interno dell'unità lievi variazioni (in corrispondenza di livelli più sabbiosi o livelli più siltosi) e, localmente, *trend* granulometrici sia *fining* sia *coarsening upward* alla scala per lo più decimetrica. Questa unità è presente in tutti i sondaggi analizzati a differenti intervalli stratigrafici e con spessori variabili da pochi decimetri a più di 2 metri; è comunque interessante notare che essa rappresenta sempre la porzione superiore della successione sedimentaria.

4.1.2 Unità litostratigrafica B

Questa unità è composta da sabbie medio-fini dall'aspetto talvolta laminato e di colore marrone-marrone chiaro (Fig. 18 carota B). Sono presenti sparsi resti vegetali, concrezioni e rari gasteropodi con guscio liscio solitamente in frammenti.

L'analisi granulometrica evidenzia la dominanza della frazione sabbiosa a scapito del silt + argilla che si attesta generalmente su valori inferiori al 10-15%. In particolare è dominante la sabbia molto fine + sabbia fine (circa 45-65%) e la sabbia media (circa 25-35%), mentre la frazione in sabbia grossolana e molto grossolana è scarsamente rappresentata (solitamente <10%), anche se fortemente variabile soprattutto da sondaggio a sondaggio. In generale, rispetto all'unità A le frazioni medie e grossolane delle sabbie sono comunque maggiormente rappresentate. Localmente sono apprezzabili dai dati granulometrici, trend granulometrici *fining upward* e la presenza di livelli più siltosi.

Questa unità è presente in tutti i sondaggi analizzati a differenti intervalli stratigrafici e con spessori variabili da pochi decimetri a poco più di mezzo metro.

4.1.3 Unità litostratigrafica C

Questa unità (Fig. 18 carote C e D) si distingue nettamente dalle altre precedentemente descritte (A e B) in quanto composta da limi argillosi piuttosto ricchi in frammenti ed esemplari di gasteropodi a guscio liscio, nonché in filamenti vegetali. Sono localmente presenti concrezioni e livelli sabbiosi in sabbia fine. Il colore è variabile da grigio chiaro-marrone chiaro (Fig. 18 carota C), a grigio scuro (Fig. 18 carota D).

Le analisi granulometriche confermano una predominanza della frazione limosa (circa 40-60%) accompagnata da una minore percentuale in argille (circa 3-10%). La frazione sabbiosa è rappresentata principalmente da quella molto fine-fine (circa 20-40%). Scarsamente rappresentata la frazione media e grossolana che assieme solitamente si attestano attorno al 6-15%. Non sono apprezzabili chiari trend granulometrici, mentre risulta evidente la presenza di livelli centimetrici in sabbia fine.

Questa unità è presente solo in 2 sondaggi, NTWE3 nella zona Nord e LUL nella zona NE del Ntwetwe Pan.

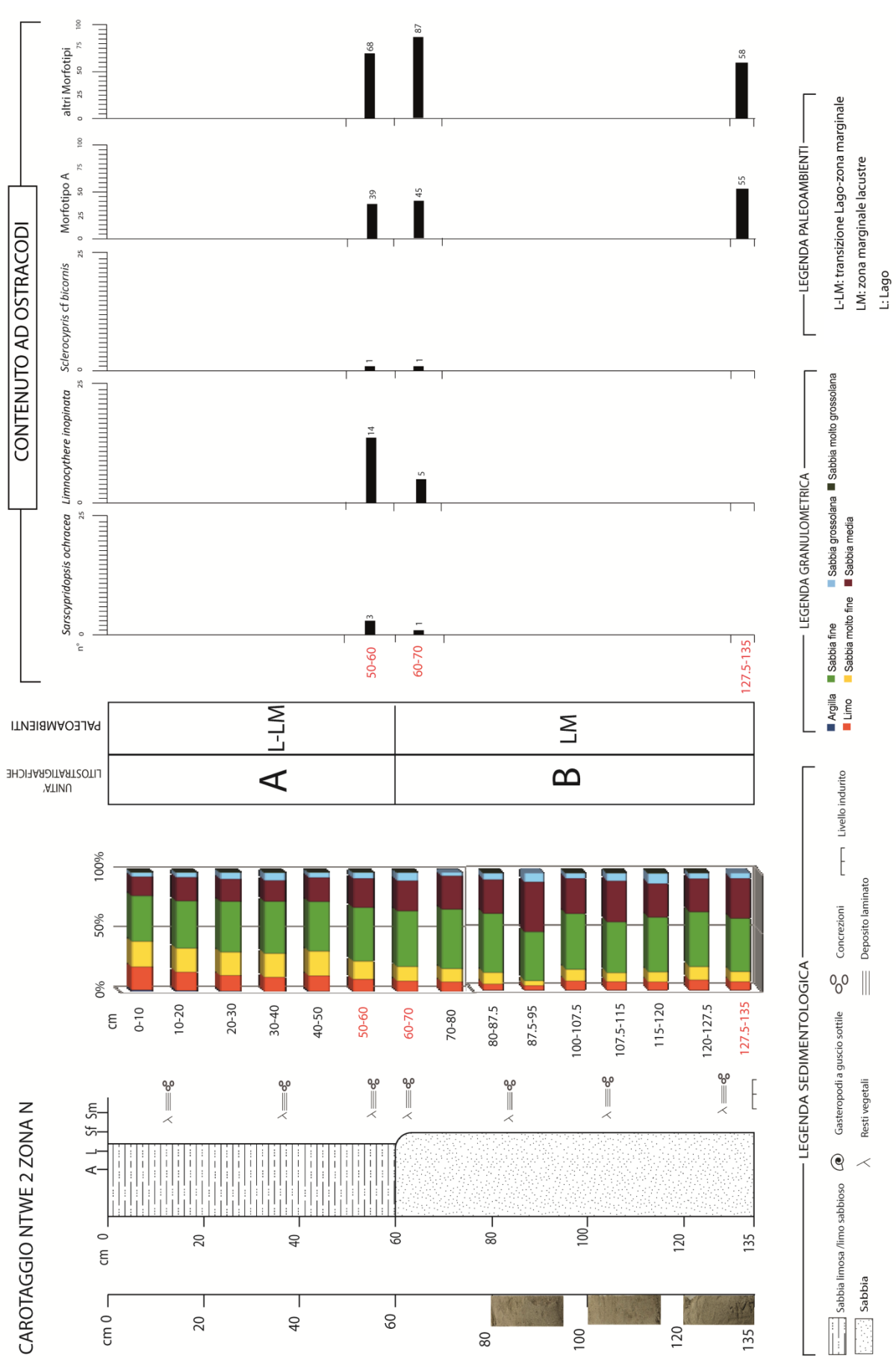


Fig. 20. Stratigrafia del sondaggio NTWE 2 (Fig. 9) Zona N (Fig. 1B). Sono riportate le caratteristiche sedimentologiche, le percentuali delle classi granulometriche e il contenuto in Ostracodi, della successione carotata. Sono inoltre riportate le unità litostratigrafiche e l'interpretazione paleoambientale.

CAROTAGGIO NTWE3 ZONA N

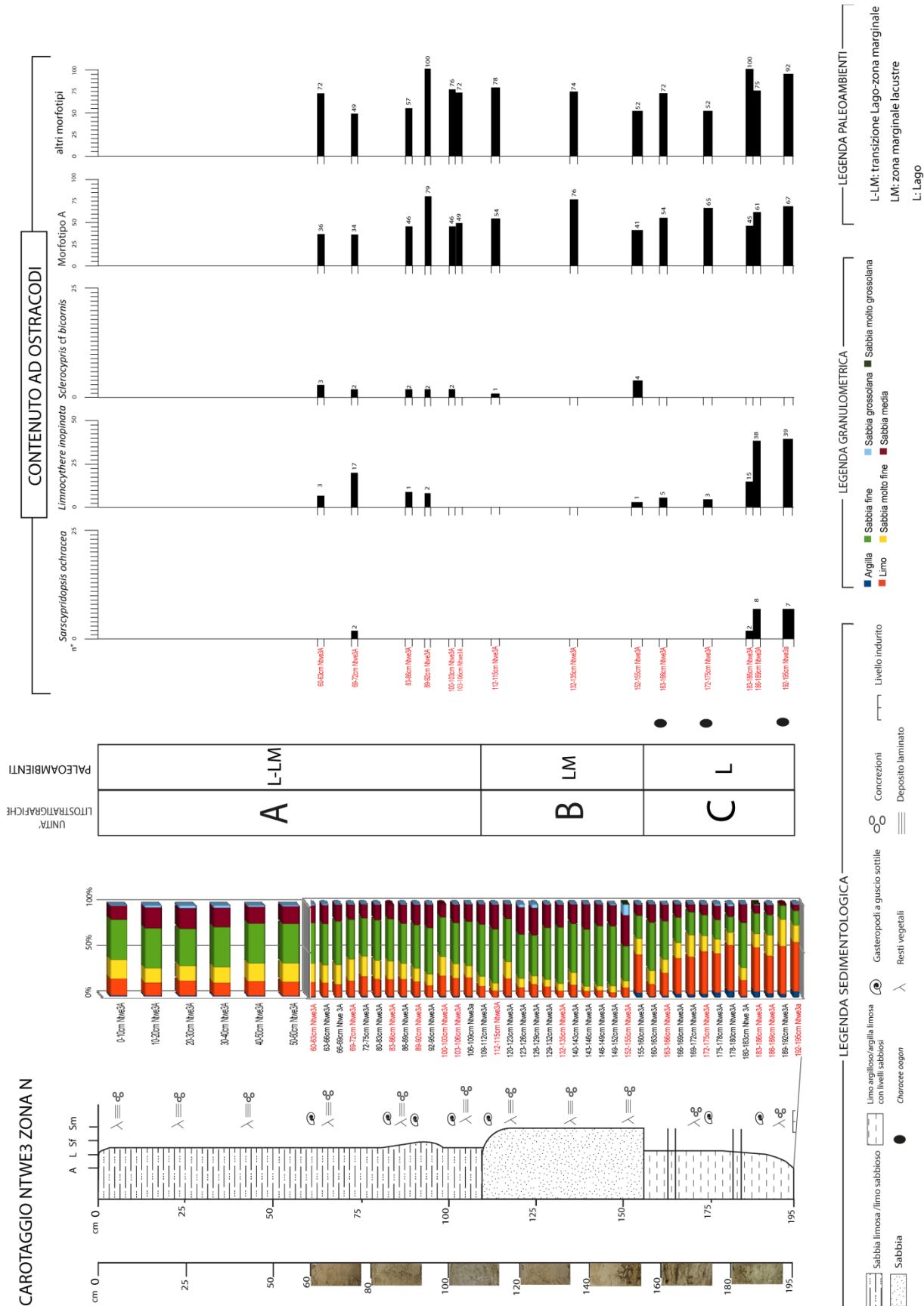


Fig. 21. Stratigrafia del sondaggio NTWE3 (Figg. 9-12) Zona N (Fig. 1B). Sono riportate le caratteristiche sedimentologiche, le percentuali delle classi granulometriche e il contenuto in Ostracodi, della successione carotata. Sono inoltre riportate le unità litostratigrafiche e l'interpretazione paleoambientale.

CAROTAGGIO RM5 ZONA NO

The figure displays a stratigraphic column and a lithological log for Carotaggio RM5 Zona NO. The stratigraphic column shows depth from 0 to 385 cm. The lithological log shows various lithologies (L, S, M, C, etc.) and their percentages. The stratigraphic column is divided into units A, B, and C. Unit A is L-LM, Unit B is alternanza LM e L-LM, and Unit C is L-LM. The stratigraphic column is also divided into sub-units A, B, and C. Unit A is L-LM, Unit B is alternanza LM e L-LM, and Unit C is L-LM.

Unit	Sub-unit	Depth (cm)	Lithology	Percentage (%)
A	L-LM	0-10cm	L	100
		10-20cm	L	100
		20-30cm	L	100
		30-40cm	L	100
		40-50cm	L	100
		50-60cm	L	100
		60-70cm	L	100
		70-80cm	L	100
		80-90cm	L	100
		90-100cm	L	100
B	alternanza LM e L-LM	100-110cm	L	100
		110-120cm	L	100
		120-130cm	L	100
		130-140cm	L	100
		140-150cm	L	100
		150-160cm	L	100
		160-170cm	L	100
		170-180cm	L	100
		180-190cm	L	100
		190-200cm	L	100
C	L-LM	200-210cm	L	100
		210-220cm	L	100
		220-230cm	L	100
		230-240cm	L	100
		240-250cm	L	100
		250-260cm	L	100
		260-270cm	L	100
		270-280cm	L	100
		280-290cm	L	100
		290-300cm	L	100

23

CONTENUTO AD OSTRACODI



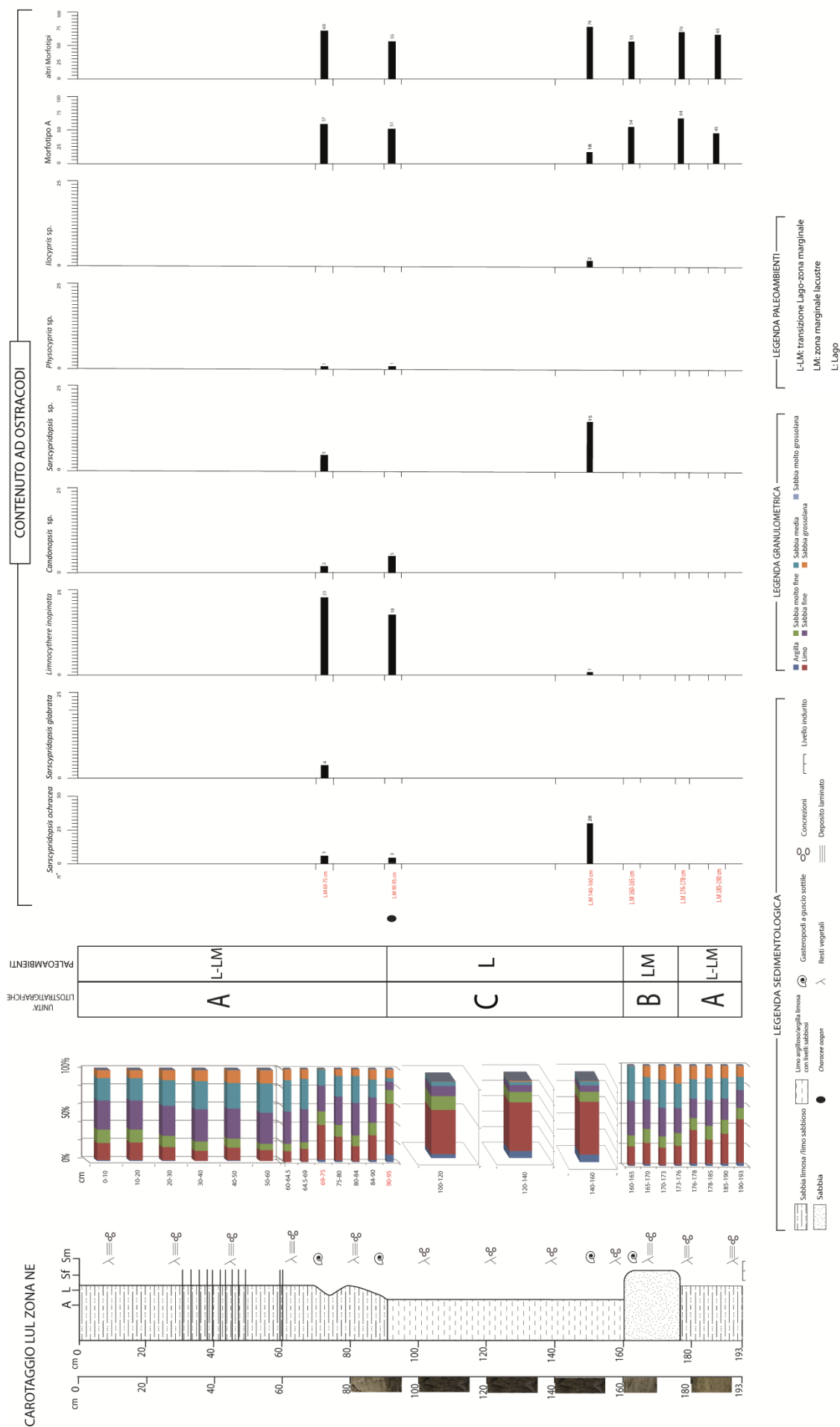


Fig. 24. Stratigrafia del sondaggio LUL (Fioq. 10-13) Zona NE (Fig. 18). Sono riportate le caratteristiche sedimentologiche, le percentuali delle classi granulometriche e il contenuto in Ostracodi, della successione carotata. Sono inoltre riportate le unità litostatiche e l'interpretazione paleoambientale.

4.2 Ostracofauna

I sedimenti analizzati del primo sottosuolo del Ntwetwe *Pan* sono risultati essere, in generale, abbastanza ricchi in ostracodi a conferma del fatto che questi micro-crostacei, dal guscio di carbonato di calcio povero in magnesio, sono piuttosto diffusi nei laghi e nelle aree umide del continente africano (Martens et al., 1996), compresa la sua zona meridionale.

Gli ostracodi sono presenti come valve disarticolate e/o carapace (valve unite) in tutti i 51 campioni analizzati e quindi entro tutte le unità litostratigrafiche descritte nel precedente paragrafo, sebbene con tipologie differenti. Infatti, è stata subito evidente la presenza di due tipologie di valve/gusci di ostracodi nei sedimenti in esame: 1) ostracodi con guscio a composizione ancora calcitica e dall'aspetto trasparente o lattiginoso 2) ostracodi con guscio di colore giallastro a composizione non più prettamente calcitica ed evidentemente ricristallizzato, nonché recante solo alcune delle caratteristiche morfologiche tipiche delle valve sia in vista esterna sia in vista interna.

La composizione mineralogica delle due tipologie di ostracodi risulta dunque differente già all'analisi al microscopio stereoscopico, ed è confermata da alcune preliminari analisi effettuate al SEM-EDS riportate nel paragrafo 4.2.2.

Su un totale di 5 sondaggi effettuati su 3 differenti siti, queste due tipologie di gusci di ostracodi sono state rinvenute assieme nei sondaggi NTWE2 e NTWE3 nella Zona N (Figg. 9, 20-21) e nel sondaggio LUL nella Zona NE (Figg. 10, 24). Nei sondaggi carotati nella Zona NO invece sono assenti (Figg. 8, 23) o estremamente ridotti in numero (Fig. 8, 22) i gusci a composizione calcitica.

È stata inoltre calcolata la percentuale delle valve ricristallizzate rispetto al numero di valve totali per campione e si è potuto constatare, in generale, che in tutte e tre le zone investigare esse sono sempre predominanti (> 70%) e che sembrano mostrare le percentuali più alte entro specifiche unità litologiche (Unità A e Unità B) indipendentemente dal sondaggio/zona (Tabelle 1-5). Infatti le valve ricristallizzate rappresentano quasi esclusivamente da sole l'ostracofauna dell'unità sabbiosa B (>95%), sono sempre molto abbondanti con valori che oscillano fra 75-100% nell'unità sabbioso limosa A e calano (68-80%) nell'unità limoso-argillosa C dove sono sempre presenti anche le valve calcitiche non ricristallizzate.

Nei sotto-paragrafi seguenti viene descritta la ostracofauna trattando separatamente gli ostracodi a guscio calcitico e gli ostracodi a guscio ricristallizzato. I dati derivanti dal *picking* degli ostracodi in forma tabellare sono riportati per ogni sondaggio in Appendice B.

Campioni	Tot. valve calcitiche	Tot. valve ricristallizzate	% valve ricristallizzate	Unità litostratigrafica
NTWE2 50-60 cm	19	107	84,92%	A
NTWE2 60-70 cm	7	132	94,96%	B
NTWE2 127,5-135 cm	0	113	100%	B

Tabella 1. Numero e percentuale di valve calcitiche *versus* valve ricristallizzate nei campioni del sondaggio NTWE2 - Zona N (Fig. 9). I gusci interi sono conteggiati come 2 valve.

Campioni	Tot. valve calcitiche	Tot. valve ricristallizzate	% valve ricristallizzate	Unità litostratigrafica
NTWE3 60-63 cm	5	108	95,58%	A
NTWE3 69-72 cm	21	83	79,81%	A
NTWE3 83-86 cm	3	103	97,17%	A
NTWE3 89-92 cm	4	183	97,86%	A
NTWE3 100-103 cm	2	122	98,39%	A
NTWE3 103-106 cm	0	121	100%	A
NTWE3 112-115 cm	1	132	92,25%	B
NTWE3 132-135 cm	0	150	100%	B
NTWE3 152-155 cm	5	93	94,90%	B
NTWE3 163-166 cm	5	126	98,18%	C
NTWE3 172-175 cm	4	117	96,69%	C
NTWE3 183-186 cm	18	160	89,39%	C
NTWE3 186-189 cm	46	136	74,73%	C
NTWE3 192-195 cm	47	159	77,18%	C

Tabella 2. Numero e percentuale di valve calcitiche versus valve ricristallizzate nei campioni del sondaggio NTWE3 - Zona N (Fig. 9).

Campioni	Tot. valve calcitiche	Tot. valve ricristallizzate	% valve ricristallizzate	Unità litostratigrafica
RM5 69-72 cm	0	77	100%	A
RM5 82-85 cm	0	138	100%	A
RM5 130-133 cm	0	105	100%	A
RM5 162-165 cm	0	112	100%	A
RM5 182-185 cm	0	112	100%	A
RM5 219-222 cm	0	84	100%	A
RM5 250-254 cm	0	89	100%	A
RM5 256-259 cm	0	81	100%	B
RM5 270-276 cm	0	94	100%	B
RM5 279-282 cm	2	109	98,17%	B
RM5 302-305 cm	0	100	100%	A
RM5 316-319 cm	0	87	100%	A
RM5 342-345 cm	0	92	100%	B
RM5 373-376 cm	2	80	97,5%	B
RM5 379-382 cm	0	91	100%	A

Tabella 3. Numero e percentuale di valve calcitiche *versus* valve ricristallizzate nei campioni del sondaggio RM5 - Zona NO (Fig. 8).

Campioni	Tot. valve calcitiche	Tot. valve ricristallizzate	% valve ricristallizzate	Unità litostratigrafica
RM3 73-76 cm	0	101	100%	A
RM3 116-119 cm	0	102	100%	A
RM3 156-159 cm	0	101	100%	A
RM3 162-165 cm	0	100	100%	A
RM3 182-185 cm	0	113	100%	A
RM3 190-193 cm	0	113	100%	A
RM3 199-202 cm	0	103	100%	A
RM3 210-213 cm	0	96	100%	A
RM3 242-245 cm	0	131	100%	A
RM3 250-253 cm	0	104	100%	A
RM3 259-262 cm	0	113	100%	B
RM3 262-265 cm	0	99	100%	B
RM3 302-305 cm	0	77	100%	B

Tabella 4. Numero e percentuale di valve calcitiche *versus* valve ricristallizzate nei campioni del sondaggio RM3 - Zona NO (Fig. 8).

Campioni	Tot. valve calcitiche	Tot. valve ricristallizzate	% valve ricristallizzate	Unità litostratigrafica
LUL 69-75 cm	40	126	75,90%	A
LUL 90-95 cm	27	106	79,70%	C
LUL 140-160 cm	46	94	67,14%	C
LUL 160-165 cm	0	109	100%	B
LUL 176-178 cm	0	134	100%	B
LUL 185-190 cm	0	110	100%	A

Tabella 5. Numero e percentuale di valve calcitiche *versus* valve ricristallizzate nei campioni del sondaggio LUL - Zona NE (Fig. 10).

4.2.1 Ostracofauna con guscio a composizione calcitica

Gli ostracodi con carapace a composizione calcitica sono presenti principalmente in forma adulta e come valve disarticolate, tuttavia sono presenti anche mute giovanili a conferma dell'autoctonia della fauna e qualche carapace intero.

E' stato messo a confronto il numero di valve e il numero di carapaci interi in ogni campione, in quando può essere un utile indicatore del grado di idrodinamismo dell'ambiente dove il campione di sedimento si è formato.

Questo confronto, seppur derivante da una popolazione sempre piuttosto limitata di individui, è risultato essere concorde con la granulometria del deposito; sono stati infatti individuati carapaci interi praticamente solo nei campioni appartenenti all'unità litostratigrafica C, ovvero quella più limosa, ad indicare condizione idrodinamiche relativamente calme. La generale assenza di carapaci interi nelle altre due unità A e B suggerisce per quest'ultime condizioni di maggiore idrodinamicità, in accordo con la granulometria più sabbiosa (sotto-paragrafo 4.1), in quanto alla morte dell'individuo vengono a decomporsi le parti molli che tengono unite le due valve e le correnti al fondo possono facilmente disarticolarle.

A completamento del dato, sono di seguito riportati in forma tabellare il numero di valve disarticolate *versus* numero di carapaci interi per i due sondaggi (NTWE3-Zona N e LUL-zona NE) dove quest'ultimi sono stati diffusamente rinvenuti.

Campioni	Numero carapaci calcitici	Numero valve calcitiche	Unità litostratigrafica
NTWE3 60-63 cm	0	5	A
NTWE3 69-72 cm	0	21	A
NTWE3 83-86 cm	0	3	A
NTWE3 89-92 cm	1	2	A
NTWE3 100-103 cm	0	2	A
NTWE3 103-106 cm	0	0	A
NTWE3 112-115 cm	0	1	B
NTWE3 132-135 cm	0	0	B
NTWE3 152-155 cm	0	5	B
NTWE3 163-166 cm	2	1	C
NTWE3 172-175 cm	2	1	C
NTWE3 183-186 cm	5	8	C
NTWE3 186-189 cm	19	8	C
NTWE3 192-195 cm	11	5	C

Tabella 6. Numero di valve calcitiche versus numero di carapaci calcitici nei campioni del sondaggio NTWE3 - Zona N (Fig. 9).

Campioni	Numero carapaci calcitici	Numero valve calcitiche	Unità litostratigrafica
LUL 69-75 cm	0	40	A
LUL 90-95 cm	2	22	C
LUL 140-160 cm	1	44	C
LUL 160-165 cm	0	0	B
LUL 176-178 cm	0	0	B
LUL 185-190 cm	0	0	A

Tabella 7. Numero di valve calcitiche *versus* numero di carapaci calcitici nei campioni del sondaggio LUL - Zona NE (Fig. 10).

L'analisi effettuata sull'ostracofauna con guscio a composizione calcitica ha consentito inoltre di identificare un discreto numero di taxa raggruppabili in 5 generi. Come già specificato nel capitolo 3, l'attribuzione tassonomica effettuata allo stereoscopico e al SEM è stata curata dalla Dott.ssa Rossi Veronica.

Tutti i generi presenti sono tipicamente dulciacquicoli-oligoalini; a livello specifico sono state riconosciute 4 specie (*Limnocythere inopinata*, *Sarscypridopsis ochracea*, *Sarscypridopsis glabrata*, *Sclerocypris* cf. *S. bicornis*) tutte comunemente rinvenute in sedimenti attuali e passati di altri laghi africani quali il Lago Malawi (Park and Cohen, 2011), il Lago Megachad (Bristow et al., 2018) e il Lago Qarun (Keatings et al., 2010) e delle zone umide del Sud Africa (Martens et al., 1996).

Sono invece al momento definiti solo a livello di genere: *Ilyocypris* sp., *Candonopsis* sp., *Physocypris* sp. e un'altra specie di *Sarscypridopsis* (*Sarscypridopsis* sp.). Le prime tre sono di dubbia interpretazione specifica anche a causa dello scarso numero di esemplari rinvenuti, l'ultima invece mostra delle caratteristiche morfologiche peculiari che potrebbero lasciar presupporre che possa essere una specie endemica del Makgadikgadi Pan.

In generale la fauna rinvenuta nei sedimenti analizzati risulta essere poco diversificata, come è tipico di ambienti lacustri, e non pare esserci una relazione fra numero di taxa e unità litostratigrafiche. Al contrario pare essere la zona NE (sondaggio LUL) a mostrare in generale una maggiore diversità.

Per quanto concerne le 3 specie più comunemente rinvenute, sono di seguito e in breve riportate le loro principali caratteristiche morfologiche riscontrate nei campioni esaminati, la localizzazione nei sondaggi studiati ed alcune indicazioni relative alla distribuzione e alle caratteristiche autoecologiche (Martens and Tudorancea, 1991; Martens et al., 1996; Park and Cohen, 2011; Bristow et al., 2018).

Limnocythere inopinata (Baird, 1843)

La specie *Limnocythere inopinata* mostra un dimorfismo sessuale molto evidente negli individui rinvenuti nei campioni esaminati, sono quindi descritte separatamente le caratteristiche morfologiche della femmina e del maschio.

La femmina risulta avere una forma del guscio semi-rettangolare, leggermente compresso lateralmente e con il margine dorsale quasi dritto ma leggermente inclinato e il margine ventrale sinuoso. E' presente un'ornamentazione reticolata più o meno evidente, mentre è sempre evidente un solco in posizione dorso-centrale (Fig. 25).

Il maschio al contrario si presenta con una forma decisamente più allungata e con una reticolazione sulle valve poco evidente (Fig. 26).

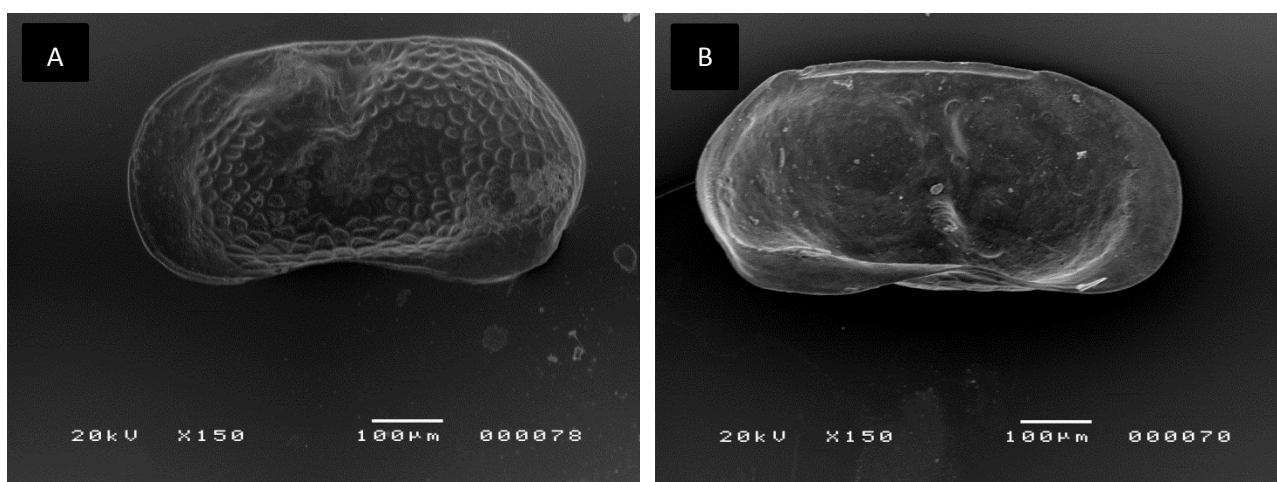


Figura 25. Immagine al SEM di *Limnocythere inopinata* femmina vista esterna (A) e vista interna (B). Gli esemplari sono stati prelevati dal sondaggio LUL-Zona NE entro l'unità C (campione 140-160 cm).

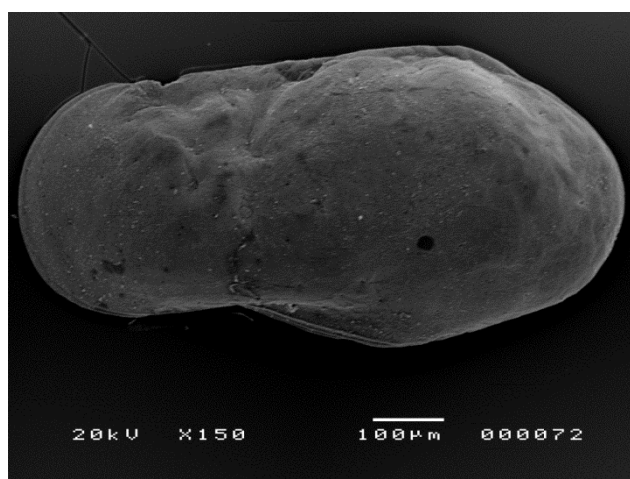


Figure 26. Immagine al SEM di *Limnocythere inopinata* maschio vista esterna. L'esemplare è stato prelevato dal sondaggio LUL-Zona NE entro l'unità A (campione 69-75 cm).

Questa specie viene ritrovata in tutte e 3 le zone investigate e in tutte e 3 le unità litostratigrafiche individuate.

Nelle zone umide del Sud Africa *L. inopinata* è frequentemente rinvenuta in ambienti moderatamente salini ed alcalini pur riuscendo a vivere anche in contesti dulciacquicoli (Martens et al., 1996); è inoltre considerata specie caratteristica degli ambienti poco profondi e marginali/spondali nei laghi africani (Park and Cohen, 2011).

Sarscypridopsis ochracea (Sars, 1924)

Le caratteristiche principali di questa specie sono la forma sub-triangolare delle valve, con il margine dorsale curvilineo e con il massimo della curvatura in zona centrale, il margine ventrale sinuoso e un'ornamentazione con punteggiatura profonda (Fig. 27).

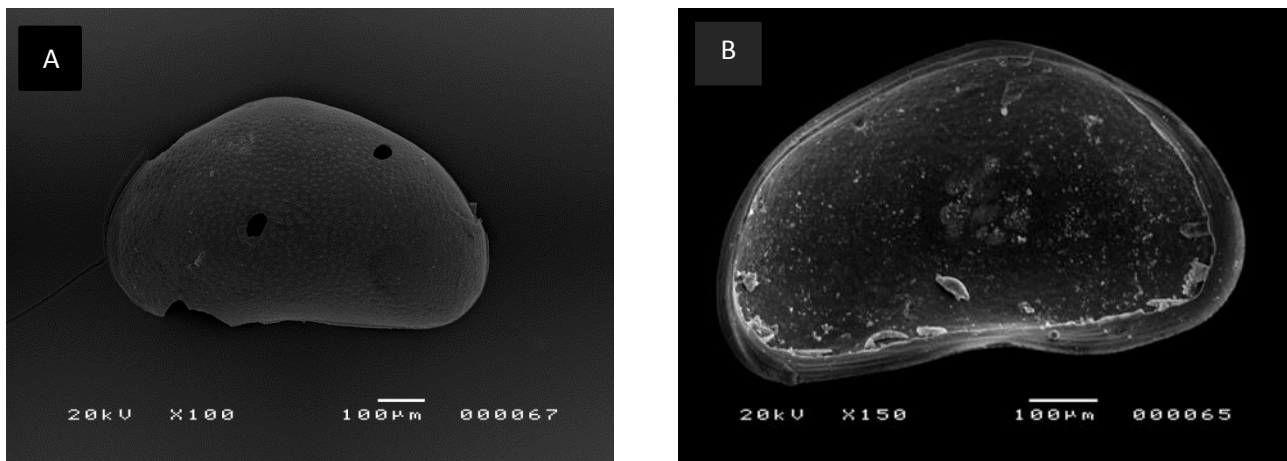


Figura 27. Immagine al SEM di *Sarscypridopsis ochracea* vista esterna (A) e vista interna (B). In vista interna sono visibili anche le impronte muscolari centrali diagnostiche a livello di genere. Gli esemplari sono stati prelevati dal sondaggio LUL-Zona NE entro l'unità C (campione 140-160 cm).

Questa specie viene rinvenuta in tutte e 3 le zone investigate e in tutte e 3 le unità litostratigrafiche individuate.

Sarscypridopsis ochracea rappresenta una delle specie più comuni nell'Africa meridionale e preferisce fondali fangosi ed è probabilmente resistente anche a condizioni molto ricche in materia organica (Martens et al., 1996).

Sclerocypris cf. *S. bicornis* (G. W. Müller, 1900)

Questa specie ha una forma sub-trapezoidale allungata con il margine dorsale quasi “appuntito” e quello ventrale quasi dritto, le valve sono lisce prive di ornamentazione evidente. È una specie di dimensioni piuttosto grandi oltre il millimetro solitamente (Fig. 28). Gli individui rinvenuti nei campioni sono un poco più squadrati della *S. bicornis* rinvenuta in altre aree umide africane.

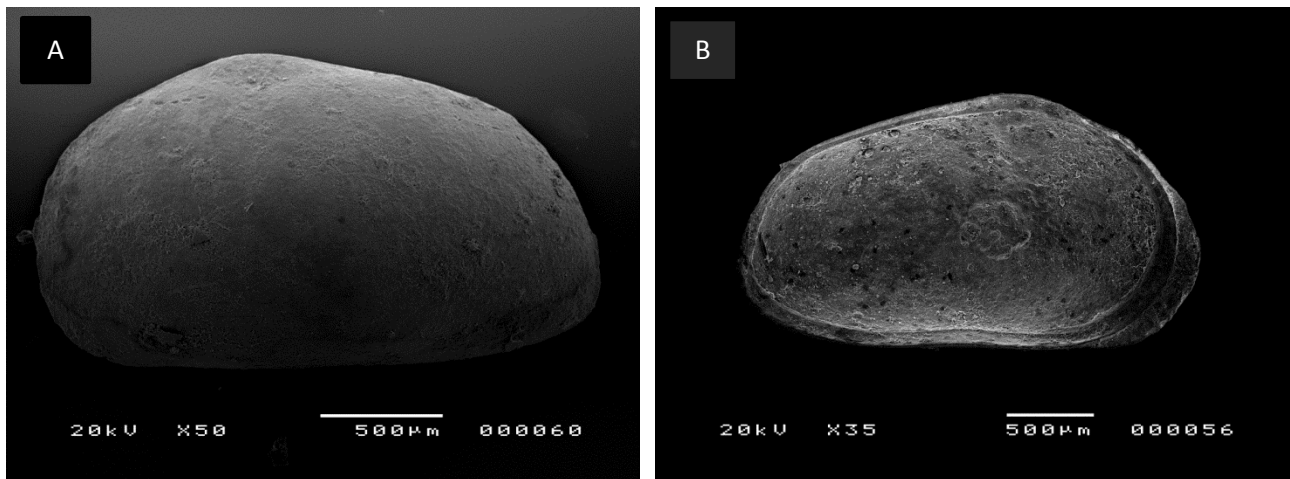


Figura 28. Immagine al SEM di *Sclerocypris* cf. *S. bicornis* vista esterna (A) e vista interna (B). In vista interna sono visibili anche le impronte muscolari centrali diagnostiche a livello di genere. Gli esemplari sono stati prelevati dal sondaggio NTWE2-Zona N entro l'unità B (campione 60-70 cm).

Questa specie viene rinvenuta in 2 nelle zone investigate (Zona N e Zona NO) ed esclusivamente nelle unità più sabbiose A e B.

Sclerocypris bicornis è stata trovata in una vasta gamma di ambienti in Africa, da stagni poco profondi ad ambienti prettamente lacustri. Pare riuscire a tollerare condizioni periodiche di bassa tavola d'acqua (Martens, 1986; Bristow et al., 2018).

4.2.2 Ostracodi con guscio ricristallizzato

Gli elementi che affermano che siamo in presenza di ostracodi, anche se fortemente ricristallizzati, sono prettamente morfologici e comprendono:

- la forma generale delle valve o del guscio intero (Fig. 29), che si presenta con le 2 valve separate tramite una evidente “linea di sutura” e con al loro interno il riempimento (questa suddivisione valve e riempimento è ben visibile al SEM; Fig. 30);
- le dimensioni compatibili con quelle delle specie di ostracodi rinvenute nella successione in esame e con i dati di letteratura per gli ostracodi dulciacquicoli-oligoalini in generale (Figg. 28-30);
- la presenza in alcuni esemplari di elementi morfologici diagnostici come la cerniera e tracce di strutture interne alle valve (Fig. 31).

Nei campioni analizzati gli ostracodi ricristallizzati sono sempre piuttosto numerosi (come precedentemente già evidenziato) e in particolare, risultano predominanti i gusci interi rispetto alle valve in tutte e 3 le zone investigate indipendentemente dall’unità litostratigrafica di appartenenza. Questo dato potrebbe essere dovuto ad una più facile identificazione dei gusci ricristallizzati piuttosto che delle valve, le quali potrebbero non essere state riconosciute *in toto* in sede di *picking*. La co-presenza, soprattutto nelle unità litostratigrafiche C ed A, di ostracodi a guscio calcitico e ricristallizzati ha favorito almeno in parte il riconoscimento di alcuni di quest’ultimi almeno a livello di genere. Infatti sono stati distinti allo stereoscopio 2 gruppi principali, uno dei quali è plausibilmente correlabile alla specie *Limnocythere inopinata* o quantomeno al genere *Limnocythere*.

- Morfotipo A che include tutti gli esemplari con forma delle valve sub-rettangolare con il margine dorsale dritto più o meno inclinato e quello ventrale sinuoso (Figg. 29-31). Tutte queste caratteristiche suggeriscono l’appartenenza al genere *Limnocythere*.

- Altri Morfotipi che includono tutti gli esemplari con margine dorsale curvilineo e ventrale dritto ma con una forma delle valve variabile da sub-triangolare, a ovoidale e sub-ovoidale (Fig. 32). I dati a disposizione non hanno consentito di attribuire alcun gruppo tassonomico a questi morfotipi.

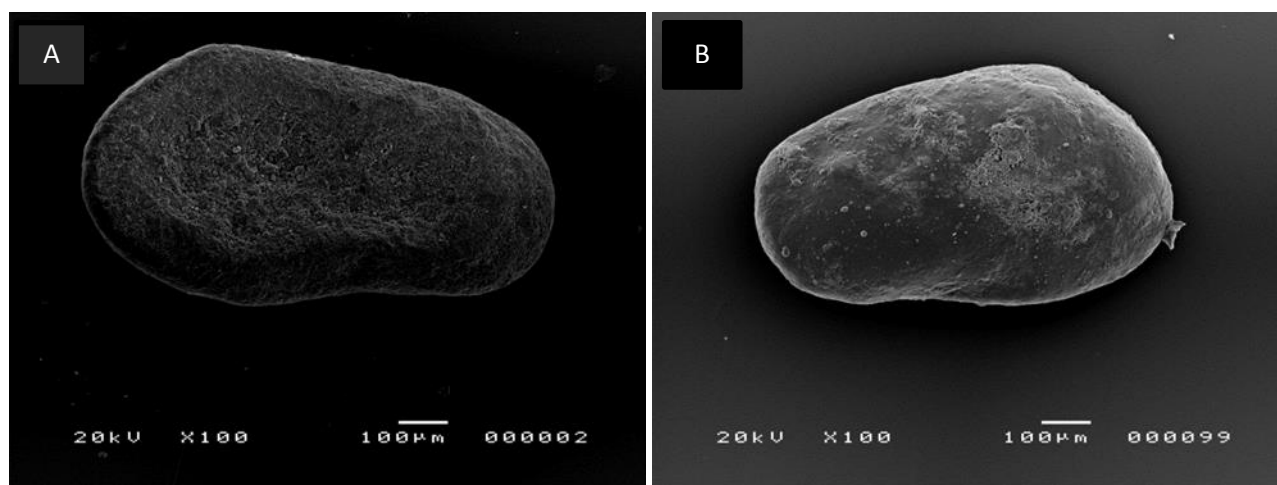


Figura 29. Immagine al SEM del Morfotipo A (probabile *Limnocythere*), valva in vista interna (A) e in vista esterna (B). L’esemplare in Fig. 28 A proviene dal sondaggio RM3 – Zona NO entro l’unità B (campione 262-265 cm); l’esemplare in Fig. 28 B proviene dal sondaggio RM5 – Zona NO entro l’unità B (campione 162-165 cm).



Figura 30. Immagine al SEM del Morfotipo A (probabile *Limnocythere*), guscio intero con le 2 valve e il riempimento. L'esemplare proviene dal sondaggio RM5 – Zona NO entro l'unità B (campione 342-345 cm).

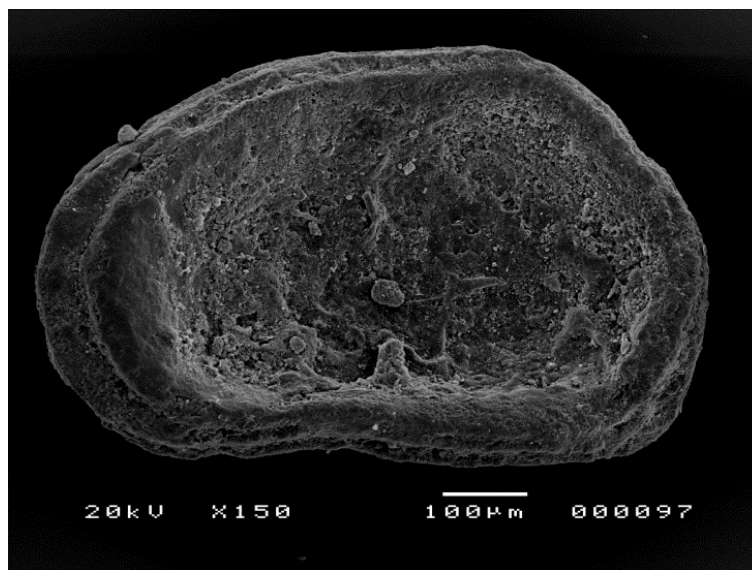


Figura 31. Immagine al SEM del Morfotipo A (probabile *Limnocythere*), valva in vista interna con ancora visibili tracce di strutture interne e la zona della cerniera. L'esemplare proviene dal sondaggio RM3 – Zona NO entro l'unità B (campione 262-265 cm).

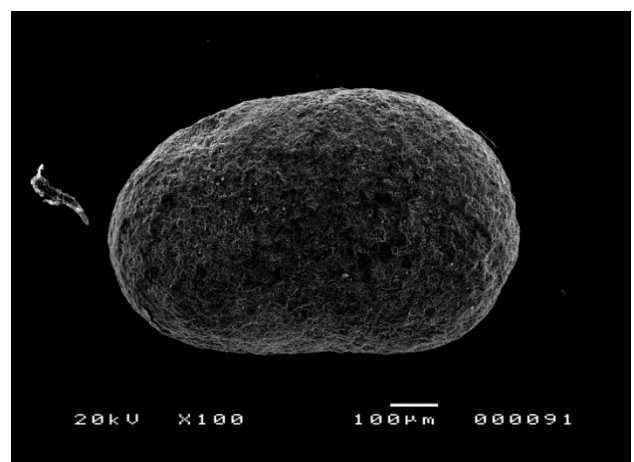
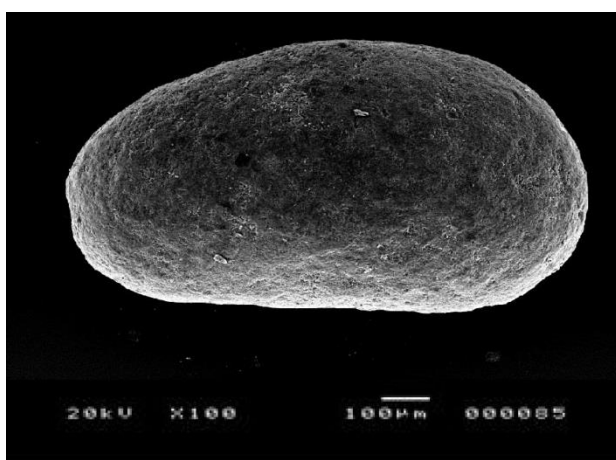


Figura 32. Immagine al SEM di altri morfotipi di ostracodi ricristallizzati, valve in vista esterna. Entrambi gli esemplari provengono dal sondaggio RM3 – Zona NO entro l'unità B (campione 302-305 cm).

Le analisi preliminari al SEM-EDS (Figg. 33-39), effettuate su 1 guscio ed 1 valva appartenenti al Morfotipo A, hanno evidenziato la costante presenza di silicio nelle valve. I picchi di calcio e il magnesio sono presenti in molti degli spettri EDS. Considerando che i gusci di ostracodi sono composti originariamente di carbonato di calcio povero in magnesio la loro presenza non è ricondotta a fenomeni di ricristallizzazione. Il riempimento fra le due valve nel caso di gusci interi e dentro la valva risulta invece ricco in silicio e alluminio e praticamente privo di calcio.

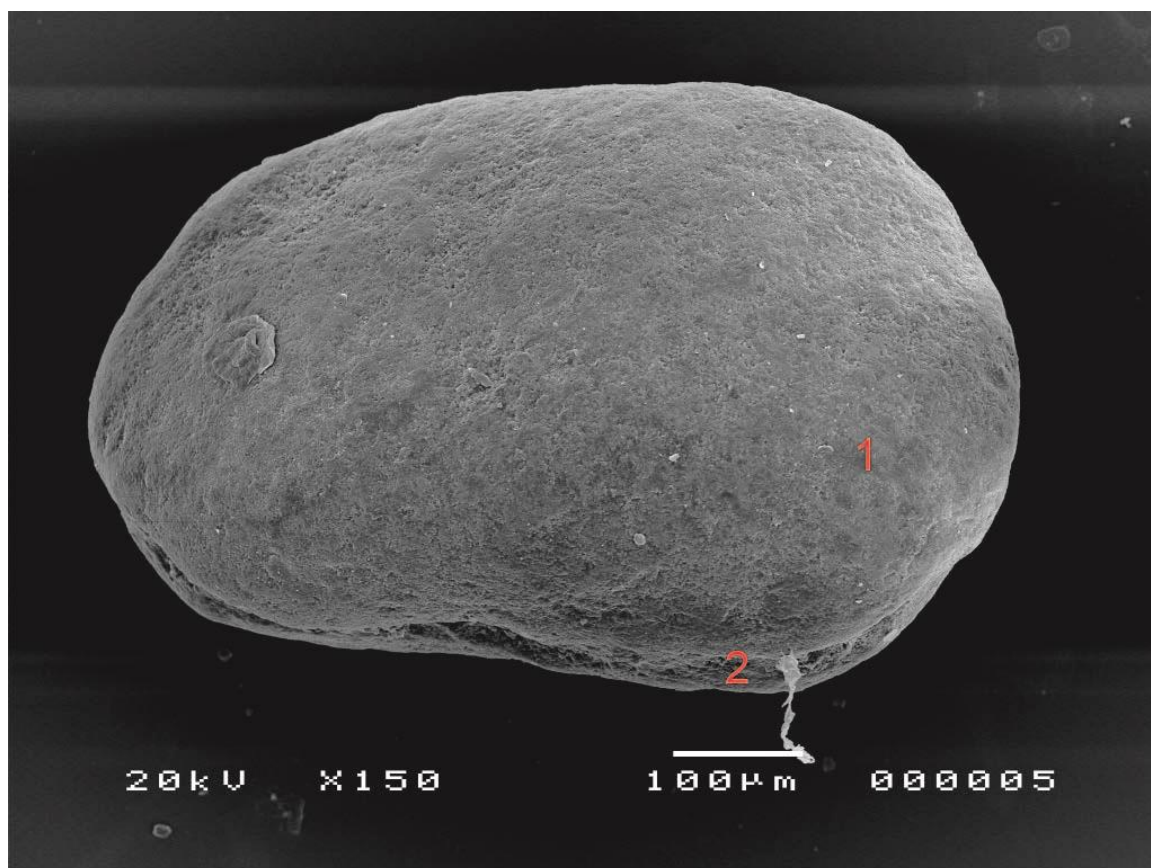


Figura 33. Immagine al SEM di un guscio di Morfotipo A (probabile *Limnocythere*) dove sono evidenti le 2 valve ricristallizzate e il loro riempimento. I numeri 1 e 2 sono i punti sui quali è stata eseguita l'analisi composizionale tramite EDS (spettri in figure 34 e 35). L'esemplare proviene dal sondaggio RM3 – Zona NO entro l'unità B (campione 302-305 cm).

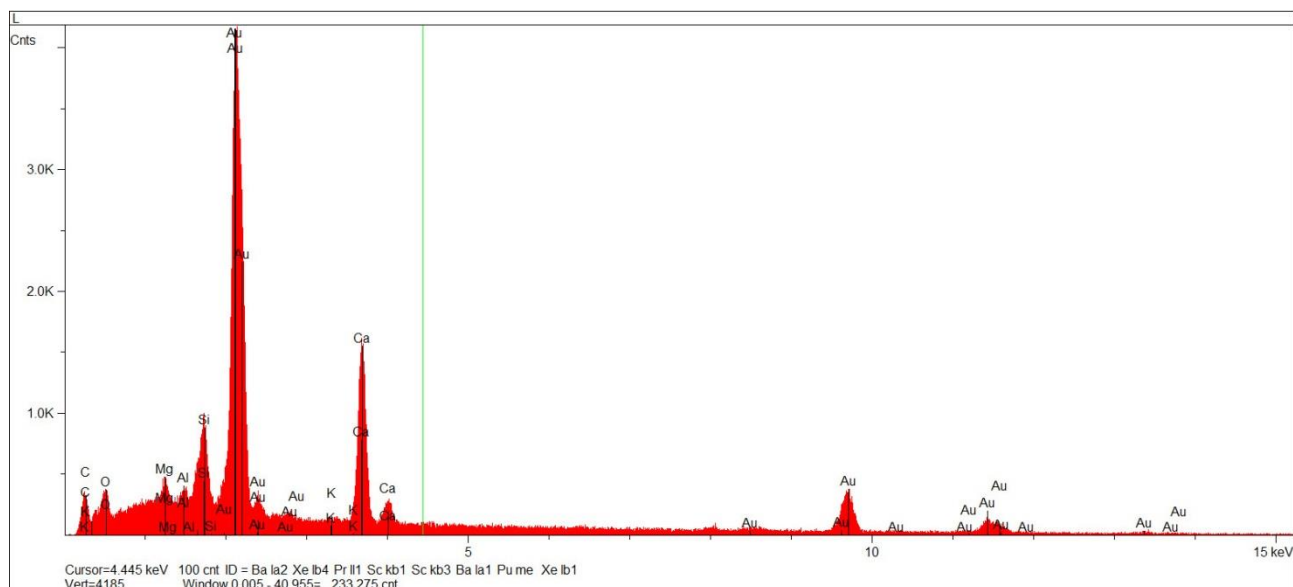


Figura 34. Spettro ottenuto tramite EDS su un punto (punto 1 in Fig. 33) della valva esterna di un guscio di Morfotipo A. Lo spettro mostra un evidente picco in silicio assieme a quello relativo al calcio e magnesio. I picchi attribuibili all'oro sono dovuti alla metallizzazione effettuata per l'analisi al SEM

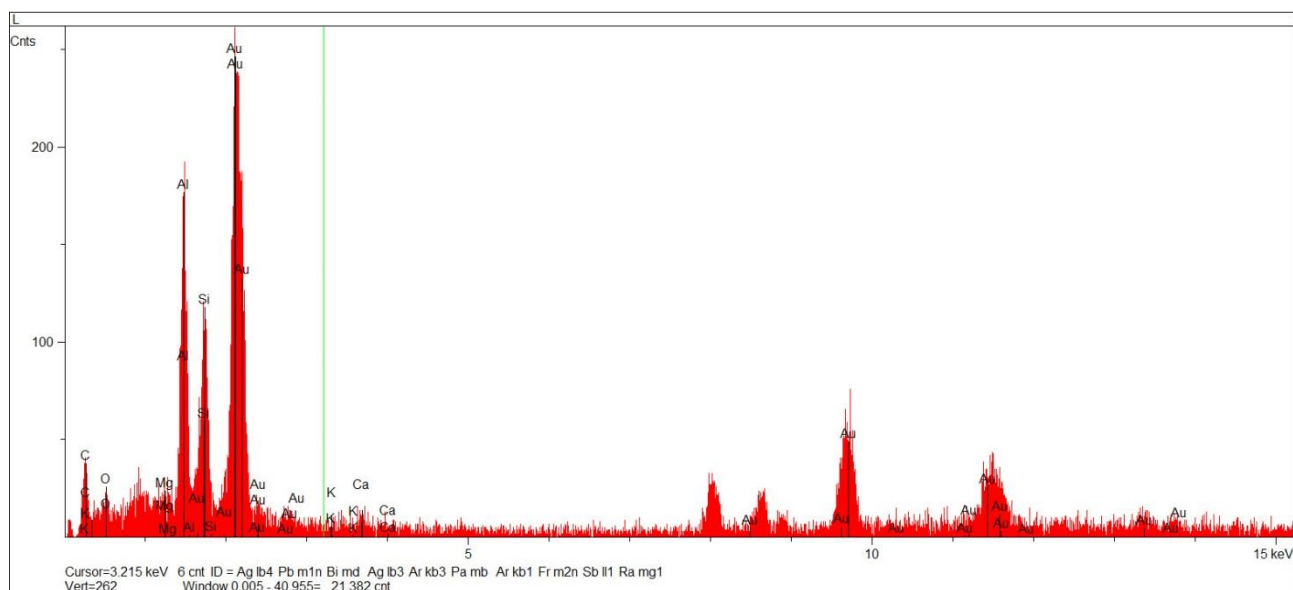


Figura 35. Spettro ottenuto tramite EDS su un punto (punto 2 in Fig. 33) del riempimento fra le due valve di un esemplare di Morfotipo A. Lo spettro mostra un evidente picco in alluminio e silicio, mentre sembra praticamente assente il calcio. I picchi attribuibili all'oro sono dovuti alla metallizzazione effettuata per l'analisi al SEM.

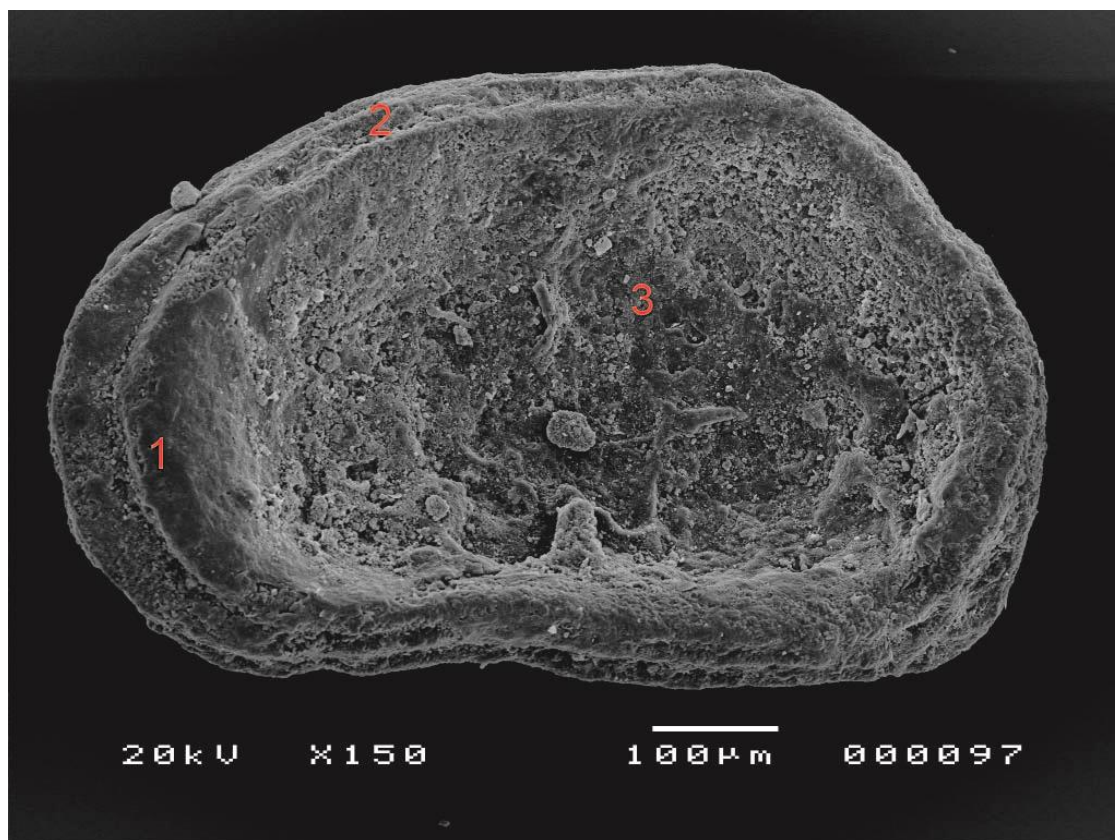


Figura 36. Immagine al SEM di una valva di Morfotipo A (probabile *Limnocythere*) in vista interna dove sono evidenti alcune strutture interne quali la ceniera. I numeri 1, 2 e 3 sono i punti sui quali è stata eseguita l'analisi composizionale tramite EDS (spettri in figure 36-37-38). L'esemplare proviene dal sondaggio RM3 – Zona NO entro l'unità B (campione 262-265 cm).

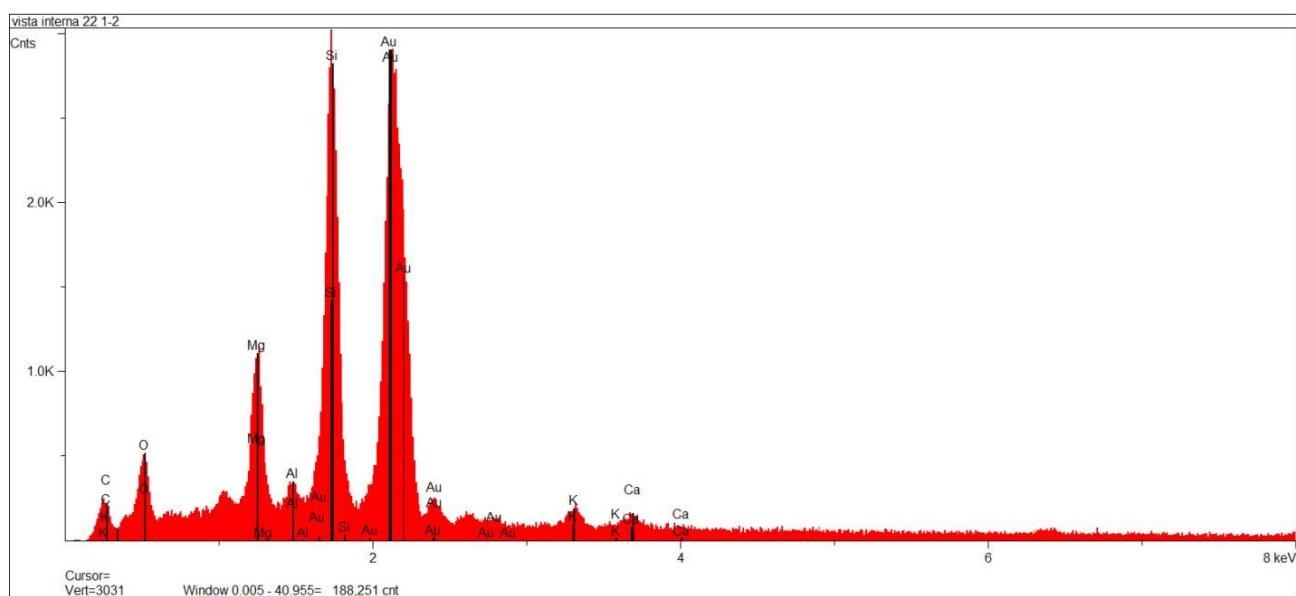


Figura 37. Spettro ottenuto tramite EDS su un punto (punto 1 in Fig. 36) sulla valva di un esemplare di Morfotipo A. Lo spettro mostra un evidente picco in silicio e secondariamente magnesio, mentre sembra praticamente assente il calcio. I picchi attribuibili all'oro sono dovuti alla metallizzazione effettuata per l'analisi al SEM.

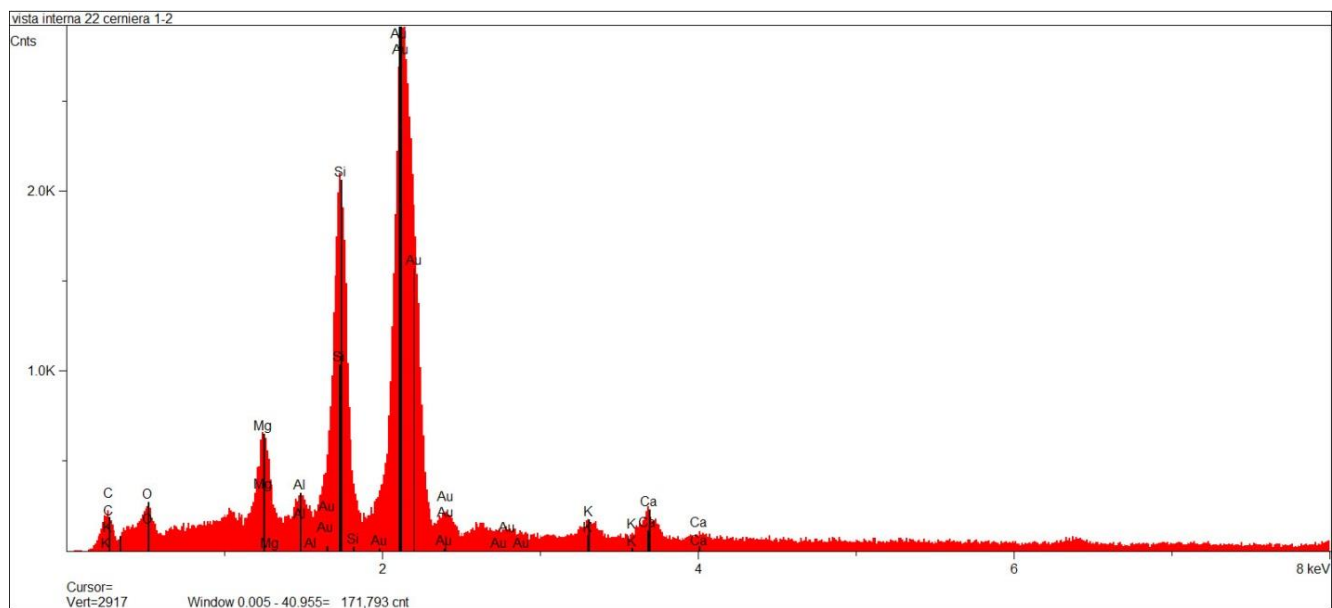


Figura 38. Spettro ottenuto tramite EDS su un punto (punto 2 in Fig. 36) sulla valva di un esemplare di Morfotipo A – zona cerniera. Lo spettro mostra un evidente picco in silicio e secondariamente magnesio, mentre sembra praticamente assente il calcio. I picchi attribuibili all’oro sono dovuti alla metallizzazione effettuata per l’analisi al SEM.

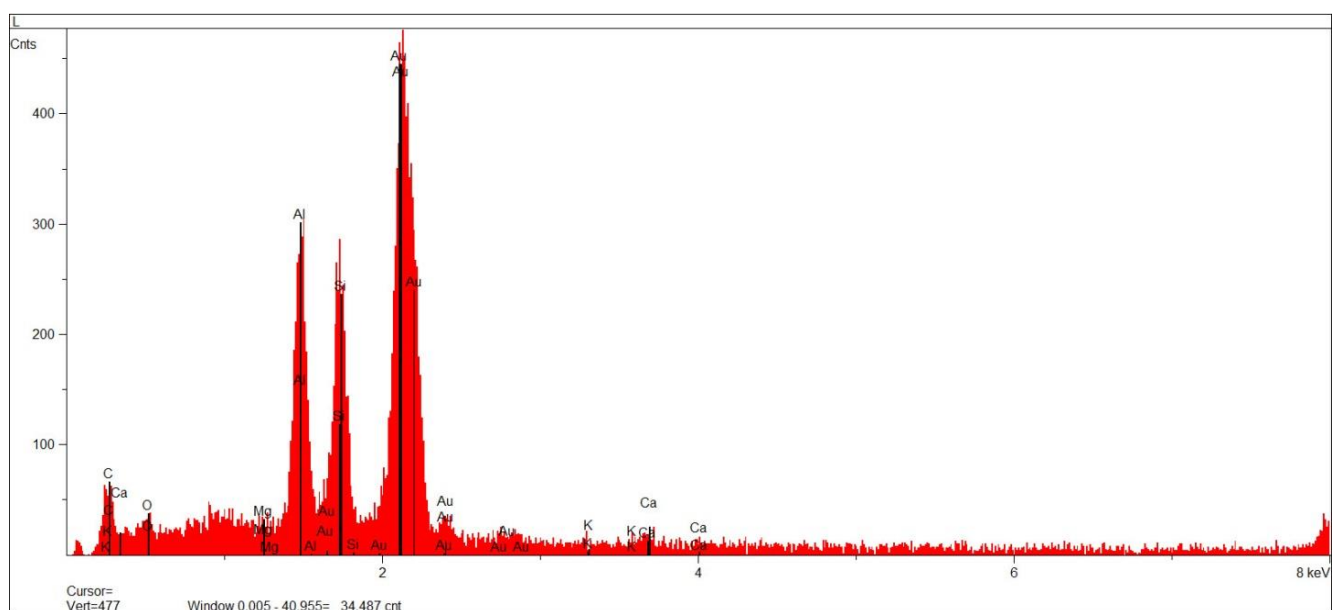


Figura 39. Spettro ottenuto tramite EDS su un punto (punto 3 in Fig. 36) del riempimento della valva di un esemplare di Morfotipo A. Lo spettro mostra un evidente picco in alluminio e silicio, mentre sembra praticamente assente il calcio. I picchi attribuibili all’oro sono dovuti alla metallizzazione effettuata per l’analisi al SEM.

In generale l’alto contenuto in Si può essere ricondotto a processi di silicizzazione dovuti all’alterazione di sedimenti generalmente molto ricchi in quarzo, invece l’alto contenuto in Al per i riempimenti in generale sembrerebbero indicare la presenza di minerali argillosi autigeni tipici di ambiente evaporitico.

5. DISCUSSIONI

5.1. Interpretazione paleoambientale dei sedimenti di primo sottosuolo dello Ntwetwe Pan

Per ogni sito di campionamento vengono di seguito descritte, partendo dal basso stratigrafico fino all'alto stratigrafico, le principali fasi evolutive riconosciute sulla base dell'integrazione del dato sedimentologico e del contenuto in ostracodi.

In particolare il contenuto in ostracodi non ricristallizzati, per i quali è dunque stato possibile effettuare un riconoscimento tassonomico certo almeno a livello di genere, unitamente al dato sedimentologico ha permesso l'identificazione di tre (3) principali paleoambienti:

1-(L) bacino lacustre

2-(LM) zona marginale lacustre

3-(L-LM) transizione lago-zona marginale

Questa interpretazione si è basata principalmente sui dati provenienti dai sondaggi della zona N e NE dove il numero di valve non ricristallizzate è soddisfacente (Figg. 20-24).

Tuttavia è importante segnalare che la fase a lago (L) è chiaramente documentata dalla ostracofauna, in quanto sempre relativamente numerose le valve non ricristallizzate e rappresentate principalmente da taxa tipicamente lacustri quali specie di *Sarscypridopsis* (che predilige fondali fangosi e le zone bacinali dei laghi) e *Limnocythere inopinata* (paragrafo 4.2.1). Più difficile è invece la distinzione tramite ostracodi fra la zona prettamente marginale e quella di transizione. Questo perché mentre l'unità litologica A in alcuni sondaggi contiene un numero di valve non ricristallizzate basso ma significativo come tipo di specie, ad esempio *L. inopinata* con la presenza secondaria di *Sclerocypris* cf. *bicornis* (specie tollerante a condizioni periodiche di bassa tavola d'acqua; paragrafo 4.2.1), l'unità B è quasi sempre priva di ostracodi a guscio calcitico. Però la granulometria maggiore e la presenza (registrata in rari campioni) di *Sclerocypris* cf. *bicornis* fanno protendere per un ambiente marginale solo saltuariamente sommerso.

La presenza, sempre piuttosto diffusa lungo la successione carotata, di ostracodi ricristallizzati è considerata in generale il prodotto di processi di ricristallizzazione tipici in ambienti aridi (e.g., Nash et al., 1994).

5.1.1 Zona N (Fig. 1B) sondaggi NTWE2 (Fig. 20) e NTWE3 (Fig. 21)

Il primo sondaggio analizzato NTWE3 (Fig. 21) in Zona N (Fig. 1B), è stato preso come sito di riferimento generale per altri siti avendo un trend sedimentologico e granulometrico chiaro.

Partendo dal basso stratigrafico (fondo foro) collocato a 1.95 m, la prima evidenza stratigrafica viene rappresentata da un livello indurito probabilmente di sabbie medie e grossolane, testimonianza di una prima fase evolutiva del lago, ipotizzabile come periodo di basso stazionamento della tavola d'acqua (cf. Reidel et al., 2014). Il top di questa unità indurita potrebbe corrispondere a uno *hiatus* stratigrafico di ca. 30 ka individuato da Riedel et al. (2014) in una carota ottenuta lungo il margine occidentale del Sua Pan (Fig. 1), ed interpretato dagli stessi Autori come un periodo di deflazione eolica durante un periodo particolarmente arido.

La prima fase del lago con sigla L corrisponde all'unità litologica C (circa 1.95-1.60 m p.c.), composta principalmente da granulometrie fini limose-argillose con la presenza di livelli millimetrici sabbiosi. Questi sono probabilmente sedimenti riconducibili alla fase di acque alte protrattasi durante l'ultimo massimo glaciale e forse in parte nell'Olocene (Riedel et al., 2014).

Questa interpretazione è supportata dal dato ad ostracodi a guscio calcitico (*Sarscypridopsis ochracea* e *Limnocythere inopinata*) che, unite alla presenza di oogoni di characee, documentano lo sviluppo di un ambiente lacustre non marginale rappresentato da una tavola d'acqua relativamente alta e condizioni idrodinamiche relativamente calme. Dentro l'unità C, è inoltre visibile la scomparsa verso l'alto di *S. ochracea* a suggerire una diminuzione della tavola d'acqua.

Successivamente è stata registrata una seconda fase evolutiva registrata da depositi sabbiosi appartenenti all'unità litologica B, contenenti valve ricristallizzate e localmente rarissime valve calcitiche di *Sclerocypris* cf. *bicornis*. La presenza di questa specie suggerisce una migrazione verso un ambiente più marginale imputabile forse ad un periodo più secco.

La terza fase con sigla L-LM è stata interpretata come una zona di transizione lacustre-marginale, poiché caratterizzata da depositi fini sabbioso-limosi (unità litologica A) contenenti rare valve calcitiche, principalmente appartenenti alle specie *Limnocythere inopinata* e in tono minore da *Sclerocypris* cf. *bicornis*. La co-presenza di queste specie rifletterebbe dunque un ritorno verso condizioni con tavola d'acqua più alta.

Questa evoluzione in 3 fasi è in buona parte confermata dal secondo sondaggio della zona N (Fig. 1B) ovvero NTWE2 (Fig. 20).

Partendo dal basso stratigrafico (fondo foro) collocato a 1,35 metri, la prima evidenza stratigrafica viene rappresentata da un orizzonte indurito come in NTWE3. A differenza di quest'ultimo però il livello è meno profondo (forse a suggerire una paleotopografia articolata) e la prima fase del lago registrata è quella corrispondente ad un ambiente marginale (fase LM). Ad essa segue una fase transizionale (fase L-LM), come in NTWE3, a suggerire un ritorno a condizioni prettamente sommerse/lacustri in senso lato dopo un periodo di emersione. Questo trend è supportato dalla ostracofauna a guscio calcitico che nella parte sommitale dell'intervallo precedente (ca. 60 cm p.c.) è composta dalle stesse specie rinvenute poi nei depositi sommitali.

In conclusione per la zona N, nel sondaggio NTWE3 riscontriamo un orizzonte sabbioso indurito ad una profondità di 1.95 m, che si trova alla profondità di 1.35 m nel sondaggio NTWE2. Questa differenza denota una distribuzione non uniforme degli orizzonti sabbiosi più grossolani, probabilmente dovuto a oscillazioni del livello del lago o a morfologie eoliche in movimento sul fondo del lago durante un periodo arido, o allo spessore variabile dei corpi di *mound*.

In generale questo sito si trova in una zona marginale nel Ntwetwe *pan* (Fig. 1B), in un'area che è stata periodicamente esposta a disseccamento nelle ultime migliaia di anni (2 mila anni secondo Riedel et al., 2014). Questa particolarità si esprime in una ridotta conservazione di ostracodi calcitici, tranne per la prima fase a lago per il sondaggio NTWE3 riferito all'unità litologica C fine argillosa limosa, che probabilmente tende a preservare e conservare in relativa abbondanza ostracodi calcitici.

5.1.2 Zona NO (Fig. 1B) sondaggi RM5 (Fig. 22) e RM3 (Fig.23)

Nella zona NO (Fig. 1B) nel sondaggio RM5 (Fig. 22), partendo dal basso stratigrafico (fondo foro) collocato a 3.85 m, la prima evidenza stratigrafica viene rappresentata da un livello indurito sabbioso, testimonianza di una fase di basso stazionamento della tavola d'acqua (CF. Riedel et al., 2014). Al di sopra di esso è registrata un'alternanza di depositi in generale sabbioso-limosi (unità A e B) ed interpretati come l'espressione di un'alternanza di ambienti marginali e transizionali (fasi LM

e L-LM). I gusci ostracodi calcitici risultano essere quasi sempre assenti e nei 2 campioni dove sono presenti (con una percentuale rispetto ai ricristallizzati inferiore al 2%, Tabella 3) essi sono rappresentati dalle specie *Limnocythere inopinata* e *Sclerocypris* cf. *bicornis* a sostegno di una fase del livello del lago non alta. Risultano essere abbondanti invece gli ostracodi con gusci ricristallizzati. Una fase transizionale (L-LM) è registrata nella porzione superiore del sondaggio; questa interpretazione nello specifico si basa sostanzialmente sulla diminuzione della granulometria (unità A da circa 255 cm fino al piano campagna) in quanto sono presenti solo ostracodi ricristallizzati.

Il secondo sondaggio RM3 (Fig. 23) mostra una stratigrafia simile a quella di RM5 (Fig. 22) ad eccezione del fatto che il contenuto in ostracodi calcitici risulta essere assente con la sola presenza in abbondanza di ostracodi ricristallizzati.

In conclusione nella zona NO riscontriamo il livello indurito ad una profondità di 3.85 m nel sondaggio RM5 e alla profondità di 3.05 m nel sondaggio RM3. Questa differenza, come per la zona N, potrebbe riflettere una paleomorfologia complessa formatasi durante un periodo arido o al diverso spessore dei *mound*.

È interessante notare come in questa area del *pan*, i sedimenti prettamente lacustri (unità C) siano assenti e vengano sostituiti da un'alternanza di sabbie e limi sabbiosi. Questa alternanza sembra essere tipica di un ambiente in generale più marginale rispetto alla zona N, fatto che ha probabilmente accelerato i processi di ricristallizzazione, portando alla quasi assenza o all'assenza totale di ostracodi calcitici.

5.1.3 Zona NE (Fig. 1B) sondaggi LUL (Fig. 24)

Come per le altre zone investigate, anche nella zona NE (Fig. 1B) - sondaggio LUL (Fig. 24), partendo dal basso stratigrafico (fondo foro) collocato a 1.93 m, mostra come prima evidenza stratigrafica un livello indurito sabbioso, testimonianza di una prima fase evolutiva del lago, ipotizzabile come periodo di basso stazionamento della tavola d'acqua.

Al di sopra di esso sono registrati ambienti di tipo transizionale (L-LM) e marginale (LM), caratterizzati da depositi limoso-sabbiosi e sabbiosi riferiti alle unità litologiche A e B, contenenti solo ostracodi ricristallizzati. Successivamente si impostano depositi lacustri (fase L) indicativi dello sviluppo di una fase a lago con tavola d'acqua relativamente alta, come documentato dalla presenza di numerose specie di ostracodi, in particolare specie di *Sarscypridopsis* e *Limnocythere inopinata* (Fig. 24).

La parte superiore del sondaggio registra il ritorno a condizioni meno "profonde" del lago (fase L-LM). La differenza sostanziale di questa ultima fase riferita all'unità litologica A, rispetto altri sondaggi con la stessa unità litologica, sta nel fatto che in questo sito troviamo una buona percentuale di ostracodi freschi, non presenti con questa abbondanza in altri siti. È per tanto possibile ipotizzare che questa zona sia stata recentemente occupata da ambiente lacustre e che l'unità superficiale A qui sia in leggera diacronia (più recente) rispetto alle altre zone. La conservazione e la diversificazione della fauna ad ostracodi calcitici, è indice di un sedimento lacustre più recente, coinvolto da meno tempo in processi di ricristallizzazione tipici di ambienti aridi (e.g., Nash et al., 1994).

In generale questo sito si trova in una zona marginale al limite con il Sua *pan* (Fig. 1B), in un'area con abbondanza in materia organica che periodicamente risultava essere sommersa (quest'ultimo

dato è supportato dalla presenza di *Candonopsis*, genere tipico di ambienti stagnanti – Henderson, 1990) differente dalla zona N e NO che risulta essere periodicamente secca, con abbondanza inferiore in ostracodi calcitici.

5.2 Evoluzione paleoambientale della parte settentrionale dello Ntwetwe Pan

La suddivisione dei sondaggi analizzati attraverso l'identificazione di 3 classi, riferite alle principali fasi evolutive del lago, interpretate attraverso le unità litologiche, il contenuto in ostracodi calcitici e le caratteristiche ecologiche di questi ultimi, riportano un quadro stratigrafico coerente con l'ambiente di formazione.

La base della sequenza stratigrafica in analisi è caratterizzata da un orizzonte non riportato per intero nei nostri sondaggi e caratterizzato da sabbie indurite (attraverso le quali il carotiere auger non è penetrato). Questo orizzonte potrebbe coincidere con le sabbie medie scoperte a 3 m di profondità da Riedel et al. (2014) nel Sua Pan (Fig. 6). Questi sedimenti sono stati datati dagli autori a ca. 37 ka e ricondotti ad una fase di emersione durante un periodo particolarmente arido (Riedel et al., 2014). Probabilmente il pan in questo periodo presentava caratteristiche ambientali simili alle attuali, dominate da fenomeni evaporativi. In questo tipo di ambiente si avrebbe un'estensiva formazione di *duricrusts* (calcrete e silcrete) dovute all'alterazione del pH dei sedimenti di primo sottosuolo (Nash et al. 1994; Riedel et al., 2014). Questa fase arida sarebbe protratta per migliaia di anni risultando in uno *hiatus* stratigrafico (Riedel et al., 2014). Durante l'ultimo massimo glaciale-Olocene le condizioni ambientali sarebbero virate verso un clima più umido caratterizzato da un lago molto più esteso. Queste condizioni lacustri sarebbero testimoniate nel record stratigrafico qui riportato da una prima fase a lago ((1-(L)) e successivamente la seconda e la terza fase ((2-(LM) e 3-(L-LM)). Nella zona N, i sondaggi NTWE3 e NTWE2 risultano avere in ordine stratigrafico le 2 classi ((2-(LM) e 3-(L-LM)) ad eccezione del sondaggio NTWE3 che risulta avere alla base anche la classe ((1-(L)), perfettamente in ordine rispetto il quadro stratigrafico riferito all'ambiente di formazione.

Nella zona NO i sondaggi RM5 e RM3 risultano avere entrambi 2 classi ((2-(LM) e 3-(L-LM)), che risultano trovarsi in alternanza stratigrafica, a testimonianza che in questa zona le condizioni fossero marginali e che piccole variazioni nelle dimensioni del lago causarono migrazione degli ambienti lacustri verso SE ed esponendo i sedimenti a processi eolici e di ricristallizzazione in ambiente evaporitico.

Nella zona NE il sondaggio LUL risulta avere, come il sondaggio NTWE3, 3 classi ((1-(L), (2-(LM) e 3-(L-LM)), avendo nelle parti basali e sommitali le 2 classi ((2-(LM) e 3-(L-LM)), rispettivamente. In posizione intermedia si colloca la classe ((1-(L)), che risulterebbe non rispettare il quadro stratigrafico riscontrato negli altri sondaggi.

Solo la classe 3-(L-LM) viene riscontrata per tutti e 5 i sondaggi nella stessa posizione stratigrafica sommitale.

In generale le zone N e NO, risultano entrambe caratterizzate da un ambiente periodicamente secco. Verosimilmente le zone a NO sono state le prime a raggiungere condizioni di playa (attuali) considerando l'incipiente ricristallizzazione dei gusci di ostracodi: prolungata esposizione a processi diagenetici tipici di ambiente arido. Questo si esprime in una ridotta conservazione e preservazione di ostracodi calcitici, tranne per la prima fase a lago per il sondaggio NTWE3, che

risulta essere affetta in maniera minore da processi di ricristallizzazione, preservando un maggior contenuto in ostracodi calcitici, nella litologia più fine limosa-argillosa.

L'ultimo sito in zona NE è ubicato in una zona marginale dello Ntwetwe *Pan* (Fig. 1B), in un'area che periodicamente risulta essere sommersa con apporto abbondante in materia organica. Questo sito risulta essere quello che registra la condizione lacustre più recente, ipotizzabile per la presenza in abbondanza di ostracodi calcitici nella parte sommitale, diversamente dagli altri sondaggi dove troviamo il maggior contenuto nelle porzioni basali.

6. CONCLUSIONI

Le diverse fasi paleoambientali di evoluzione dello Ntwetwe *Pan* settentrionale vengono definite attraverso tre diverse unità litologiche, descritte in base al contenuto fossilifero, granulometria e altre caratteristiche fisiche, correlate al contenuto ad ostracodi.

I sondaggi ubicati nella zona marginale a nord del *pan* (NTWE3 e NTWE2; Fig. 1B), sono caratteristici di ambiente lacustre prossimale e pertanto registrano cicliche fasi di disseccamento con predominanza di rimaneggiamento eolico e intensi processi di ricristallizzazione tipici di ambiente arido che compromettono la conservazione di ostracodi calcitici. Questa perturbazione generalizzata trova la sua massima espressione nelle unità litologiche fini/grossolane (A e B) che sono per loro stessa natura litologie permeabili. Considerando la parte micropaleontologica, le unità litologiche A e B corrispondono ad una fase successiva all'apertura del lago, dove la tavola d'acqua risulta essere più bassa con una maggiore energia idrodinamica. Fasi durante le quali minime variazioni della tavola d'acqua avrebbero indotto condizioni fortemente evaporative come le attuali. L'unità litologica C presente nel sondaggio NTWE3, rappresenta la fase di massima espansione del lago registrata nei sedimenti di primo sottosuolo indagati; questa corrisponde ad una fase dove la tavola d'acqua è più alta con una minore energia idrodinamica al fondo.

I sondaggi zona occidentale del *pan* (RM5 e RM3, Fig. 1B), presentano un quadro stratigrafico complesso fatto di alternanze di sedimenti fini e grossolani delle unità litologiche A e B che sicuramente, considerando la parte micropaleontologica, corrispondono ad una fase successiva all'apertura del lago. Durante questa fase la zona si trovava ai margini del lago (battigia?) ed era quindi interessata da alternanze di cicli di annegamento ed emersione. In quest'area le unità litologiche A e B vengono interessate da intensi processi di ricristallizzazione che compromettono la conservazione di ostracodi calcitici.

La zona orientale del *pan* (LUL, Fig. 1B), risulta essere differente rispetto alle altre zone analizzate. Il sondaggio infatti contiene una alta percentuale di ostracodi calcitici, sia nella litologia impermeabile (C) che in quella più permeabile (A) in posizione stratigrafica alta. La porzione di sedimento sottoposta ad intensi processi di ricristallizzazione relativa alle unità litologiche A e B permeabili, si colloca nella parte basale differentemente per gli altri sondaggi dove è situata nelle porzioni sommitali. L'unità C risulta essere collocata in una posizione intermedia rispetto alle unità A e B. Questo sito registra quindi fasi evolutive differenti, rappresentate da un ambiente di formazione lacustrino più recente, caratterizzato da aperture più gradualmente del sistema lacustre.

In conclusione i sondaggi ubicati in zona N e NO, riportano un quadro stratigrafico coerente con zone marginali del lago molto più dinamiche in termini di cambiamenti ambientali, mentre la zona orientale sembra essere quella dove le condizioni lacustre hanno perdurato più a lungo.

BIBLIOGRAFIA

- Bhalotra, Y.P.R., 1987. Climate of Botswana, Part II: Elements of Climate. Meteorological services, MWTC, Gaborone.
- Borrough, S.L., D.S.G. Thomas & Bailey R.M., 2009a. Mega-Lake in the Kalahari: A Late Pleistocene record of the Palaeolake Makgadikgadi system. *Quaternary Science Reviews* 28 (2009) 1392–1411
- Burrough, S. L., D. S. G. Thomas & J. S. Singarayer, 2009b. Late Quaternary hydrological dynamics in the Middle Kalahari: forcing and feedbacks. *Earth-Science Reviews* 96: 313–326.
- Borrough, S.L., D.S.G. Thomas, Bailey R.M., Davies, L., 2012. From landform to process: Morphology and formation of lake-bed barchan dunes, Makgadikgadi, Botswana.
- Bristow, C. S., Holmes, J.A., Matthey, D., Salzmann, U., Sloane, H.J., 2018. A late Holocene palaeoenvironmental ‘snapshot’ of the Angamma Delta, Lake Megachad at the end of the African Humid Period.
- Catuneanu, O., Wopfer, H., Eriksson, P.F., Cairncross, B., Rubidge, B.S., Smith, R.M.H, Hancox, P.J., 2005. The Karoo basins of south-central Africa.
- Cooke, H.J., 1980. Landform evolution in the context of climatic change and neo-tectonism in the middle Kalahari of north-central Botswana. *Transactions, Institute of British Geographers* 5, 80–99.
- Cooke, H.J., Verstappen, T.H., 1984. The landforms of the western Makgadikgadi basin in northern Botswana, with a consideration of the chronology of the evolution of Lake Palaeo-Makgadikgadi. *Zeitschrift Fur Geomorphologie* 28, 1–19.
- Cotterill, F.P.D., 2003. Geomorphological influences on vicariant evolution in some African mammals in the Zambezi Basin: some lessons for coaservation. In: A. Plowman (Editor), *Ecology and Conservation of Small Antelope. Proceedings of an International Symposium on Duiker and Dwarf Antelope in Africa*. Filander Verlag. F  urth, 11-58.
- Cotterill, F.P.D., 2004. Drainage evolution in south-central Africa and vicariant speciation in swamp-dwelling weaver birds and swamp flycatchers. *The Honeyguide* 25(1), 7-25.
- Cotterill, F.P.D., 2005. The Upemba lechwe *Kobus ansellii*: an antelope new to science emphasizes the conservation importance of Katanga, Democratic Republic of Congo. *Journal of Zoology*, London, 265, 113-132.
- Cotterill, F.P.D., 2006. The Evolutionary History and Taxonomy of the *Kobus iecche* species complex of south-central Africa in the context of Palaeo Drainage Dynamics. Unpublished PhD the.sis, University of Stellenbosch, South Africa, 425pp.
- Cotterill, F.RD. and de Wit, M.J., 2011. Geocodynamics and the Kalahari Epeirogeny: Linking its genomic record, tree of life and palimpsest into a unified narrative of landscape evolution. *South African Journal of Geology*, 114, 489-514.
- De Deckker P., Colin J.-P., Peypouquet (a cura di) 1988. *Ostracoda in the Earth Science*. Elsevier, 302 pp.
- Eckardt, F.D., Bryan, R.G., McCulloch, G., Spiro, B., Wood, W.W., 2008. The hydrochemistry of a semi-arid pan basin case study: Sua Pan, Makgadikgadi, Botswana. Elburg, M., Goldberg, A., 2000. Age and geochemistry of Karoo dolerite dykes from northeast Botswana. *J. Afr. Earth Sci.* 31, 539–554.
- Elburg, M., Goldberg, A., 2000. Age and geochemistry of Karoo dolerite dykes from northeast Botswana. *J. Afr. Earth Sci.* 31, 539–554.
- Grey, D. R. C. e H. J. Cooke, 1977. Some problems in the Quaternary evolution of the landforms of northern Botswana. *Catena* 4: 123–133.
- Henderson, PA (1990) Freshwater Ostracods: keys and notes for the identification of the species. In: Kermack DM, Barnes RSK (eds) *Synopsis of the British Fauna* 42. Universal Book Series and Backhuys Publishers, Oegstgeest, p 228.

- Jourdan, F., Feraud, G., Bertrand, H., Kampunzu, A.B., Tshoso, G., Le Gall, B., Tiercillin, J.-J., Capiez, P., 2004. The Karoo triple junction questioned: evidence from Jurassic and Proterozoic $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and geochemistry of the giant Okavango dyke swarm (Botswana). *Earth Planet. Sci. Lett.* 222, 989–1006.
- Keatings, K.W, Hawkes, I., Holmes, J.A., Flower, R.J., Leng, M.J., Abu Zied, R.H & Lord A.R., (2007): Evaluation of ostracod-based palaeoenvironmental reconstruction with instrumental data from the arid faiyum depression, Egypt-journal of Paleolimnology, 38: 261-283, Dordrecht.
- Keatings, K., Flower, R., Horne, D., Whittaker, J.E., Abu-Zied, R.H., 2010. Ostracods and the Holocene palaeolimnology of LakeQarun, with special reference to past human–environmentinteractions in the Faiyum (Egypt).
- Martens, K., 1986. Taxonomic revision of the subfamily Megalocypridinae Rome, 1965 (Crustacea, Ostracoda). *Verhandelinger van del Keninklijke Akademie voor Weten schappen, Letteren an Schone Kunsten van Bielgie*, K.L.Wet. 48,1-81.
- Martens, K. & Tudorancea, C. 1991. Seasonality and microdistribution of the non-marine ostracods of Lake Zwai (Ethiopia) (Crustacea, Ostracoda). *Freshwat. Bioi.* 25: 233-241.
- Martens, K., Davies, B.R., Baxter, A.J. and Meadows M.E., 1996. A contribution to the taxonomy and ecology of the Ostracoda (Crustacea) from Verlorenvlei (Western Cape, South Africa).
- Martens, K. & Savatnalinton, S. (2011) A subjective checklist of the Recent, free-living, non-marine Ostracoda (Crustacea). *Zootaxa*, 2855, 1–79.
- McFarlane, M.J., Long, C.W., 2015. Pan floor ‘barchan’ mounds, Ntwetwe Pan, Makgadikgadi, Botswana: Their origin and palaeoclimatic implications.
- Moore, A.E., 2011. Final Report on prospecting carried out in Prospecting Licences (PL's) 63-65/2007 (Okavango Project), PAM (Botswana) (Pty.) Ltd., 17pp plus appendices.
- Moore, A.E. and Larkin, P.A., 2001. Drainage evolution in south-central Africa since the break-up of Gondwana. *South African Journal of Geology*, 104, 47-68.
- Moore, A.E, Cotteril, (Woody) F.P.D., Eckardt, F.D., 2012. The evolution and ages of Makgadikgadi palaeo-lakes: consilient evidence from Kalahari drainage evolution south-central Africa.
- Park, L.E., and Cohen, A.S., 2011. Paleoecological response of ostracods to early Late Pleistocene lake-level changes in Lake Malawi, East Africa.
- Pint, A., Frenzel, P., Horne, D.J., Franke, J., Daniel, T., Burghardt, A., Wennrich, V., 2015. Ostracoda from inland waterbodies with saline influence in Central Germany: implications for palaeoenvironmental reconstruction. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 419, 37–46.
- Riedel, F., Henderson, A.C.G., Heußner, K., Kaufmann, G., Kossler, A., Leipe, C., Shemang, E., Taft, L., 2014. Dynamics of a Kalahari long-lived mega-lake system: hydromorphological and limnological changes in the Makgadikgadi Basin (Botswana) during the terminal 50 ka.
- Ringrose, S., Matheson, W., Wolski, P., Huntsman-Mapila, P., 2003. Vegetation cover trends along the Botswana Kalahari transect. *Journal of Arid Environments* 54, 297–317.
- Thomas, D.S.G., Shaw, P.A., 1991. *The Kalahari Environment*. Cambridge University Press, Cambridge.

APPENDICE A

APPENDICE A

Campioni	Argilla	Limo	Sabbia molto fine	Sabbia fine	Sabbia media	Sabbia grossolana	Sabbia molto grossolana	Totale sabbia	Litologia
NTWE2 50-60 cm	0,00%	10,09%	15,36%	45,00%	24,33%	5,11%	0,12%	89,91%	Sabbia limosa
NTWE2 60-70 cm	0,00%	8,71%	12,11%	46,71%	25,38%	6,81%	0,28%	91,28%	Sabbia
NTWE2 127,5-135 cm	0,00%	7,11%	8,78%	45,40%	33,98%	4,73%	0,00%	92,89%	Sabbia

Tabella 1 - Appendice A - relativa al sondaggio NTWE 2 (Fig. 9) Zona N (Fig. 1B). Nella tabella vengono riportati i dati granulometrici per ogni campione analizzato, ottenuti tramite un granulometro della Mastersizer della Malvern.

Campioni	Argilla	Limo	Sabbia molto fine	Sabbia fine	Sabbia media	Sabbia grossolana	Sabbia molto grossolana	Totale sabbia	Litologia
NTWE3 60-63 cm	0,62%	15,29%	20,44%	43,73%	18,74%	1,18%	0,00%	84,09%	Sabbia limosa
NTWE3 69-72 cm	0,64%	16,68%	23,62%	42,65%	15,98%	0,43%	0,00%	82,69%	Sabbia limosa
NTWE3 83-86 cm	0,87%	17,88%	20,02%	45,53%	15,72%	0,00%	0,00%	81,25%	Sabbia limosa
NTWE3 89-92 cm	0,72%	15,86%	14,53%	46,79%	21,85%	0,25%	0,00%	83,42%	Sabbia limosa
NTWE3 100-103 cm	1,09%	21,69%	20,83%	42,58%	13,81%	0,00%	0,00%	77,22%	Sabbia limosa
NTWE3 103-106 cm	0,9%	19,21%	15,80%	44,19%	19,72%	0,18%	0,00%	79,89%	Sabbia limosa
NTWE3 112-115 cm	0,00%	6,73%	8,40%	58,09%	26,44%	0,34%	0,00%	93,27%	Sabbia
NTWE3 132-135 cm	0,00%	6,66%	7,90%	60,81%	24,42%	0,21%	0,00%	93,34%	Sabbia
NTWE3 152-155 cm	0,04%	9,92%	7,58%	37,62%	32,97%	11,80%	0,09%	90,05%	Sabbia
NTWE3 163-166 cm	1,12%	24,61%	14,86%	41,38%	17,79%	0,15%	0,00%	74,19%	Sabbia limosa
NTWE3 172-175 cm	3,08%	46,02%	17,12%	22,30%	11,19%	0,29%	0,00%	50,60%	Limo sabbioso
NTWE3 183-186 cm	5,65%	47,72%	15,08%	21,86%	8,96%	0,72%	0,02%	46,63%	Limo
NTWE3 186-189 cm	3,65%	40,88%	22,42%	21,63%	10,76%	0,65%	0,00%	55,46%	Limo sabbioso
NTWE3 192-195 cm	5,88%	53,32%	18,33%	15,65%	6,63%	0,18%	0,00%	40,80%	Limo argilloso

Tabella 2- Appendice A - relativa al sondaggio NTWE 3 (Fig. 9-12) Zona NO (Fig. 1B). Nella tabella vengono riportati i dati granulometrici per ogni campione analizzato, ottenuti tramite un granulometro della Mastersizer della Malvern.

Campioni	Argilla	Limo	Sabbia molto fine	Sabbia fine	Sabbia media	Sabbia grossolana	Sabbia molto grossolana	Totale sabbia	Litologia
RM5 69-72 cm	0,32%	17,32%	18,82%	39,71%	21,70%	2,14%	0,00%	82,36%	Sabbia limosa
RM5 82-85 cm	1,16%	28,81%	22,81%	32,31%	14,61%	0,29%	0,00%	70,02%	Limo sabbioso
RM5 130-133 cm	1,05%	23,73%	19,44%	37,96%	17,68%	0,15%	0,00%	75,23%	Sabbia limosa
RM5 162-165 cm	1,55%	30,39%	22,12%	29,42%	16,24%	0,27%	0,00%	68,05%	Limo sabbioso
RM5 182-185 cm	2,15%	33,74%	25,87%	29,82%	8,38%	0,04%	0,00%	64,11%	Limo sabbioso
RM5 219-222 cm	1,96%	33,13%	33,33%	28,67%	2,92%	0,00%	0,00%	64,91%	Sabbia limosa
RM5 250-254 cm	1,71%	30,84%	26,97%	28,37%	11,88%	0,23%	0,00%	67,45%	Limo sabbioso
RM5 256-259 cm	0,65%	11,86%	15,91%	43,28%	27,06%	1,24%	0,00%	87,49%	Sabbia limosa
RM5 270-276 cm	1,07%	20,50%	17,25%	37,78%	22,75%	0,65%	0,00%	78,44%	Sabbia limosa
RM5 279-282 cm	0,42%	9,38%	10,51%	49,51%	28,63%	1,55%	0,00%	90,20%	Sabbia
RM5 302-305 cm	0,97%	16,63%	12,18%	42,45%	27,14%	0,63%	0,00%	82,41%	Sabbia limosa
RM5 316-319 cm	1,40%	23,77%	24,77%	32,20%	15,75%	2,11%	0,00%	74,83%	Sabbia limosa
RM5 342-345 cm	1,09%	14,40%	8,59%	40,49%	33,66%	1,77%	0,00%	84,51%	Sabbia limosa
RM5 373-376 cm	0,62%	13,81%	14,47%	46,91%	23,83%	0,35%	0,00%	85,57%	Sabbia limosa
RM5 379-382 cm	1,96%	33,73%	20,41%	36,74%	7,15%	0,00%	0,00%	64,31%	Limo sabbioso

Tabella 3- Appendice A - relativa al sondaggio RM5 (Figg. 8- 11) Zona NO (Fig. 1B). Nella tabella vengono riportati i dati granulometrici per ogni campione analizzato, ottenuti tramite un granulometro della Mastersizer della Malvern.

Campioni	Argilla	Limo	Sabbia molto fine	Sabbia fine	Sabbia media	Sabbia grossolana	Sabbia molto grossolana	Totale sabbia	Litologia
RM3 73-76 cm	1,19%	26,79%	27,52%	38,49%	6,00%	0,00%	0,00%	72,01%	Sabbia limosa
RM3 116-119 cm	1,49%	29,17%	22,88%	34,06%	12,31%	1,00%	0,00%	69,34%	Limo sabbioso
RM3 156-159 cm	0,81%	14,79%	14,44%	43,74%	25,07%	1,14%	0,00%	84,40%	Sabbia limosa
RM3 162-165 cm	1,87%	34,71%	26,77%	28,89%	7,75%	0,00%	0,00%	63,41%	Limo sabbioso
RM3 182-185 cm	1,13%	19,09%	12,47%	38,10%	26,76%	2,45%	0,00%	79,78%	Sabbia limosa
RM3 190-193 cm	1,31%	24,65%	20,48%	36,09%	17,02%	0,44%	0,00%	74,03%	Sabbia limosa
RM3 199-202 cm	0,96%	12,02%	12,04%	41,77%	28,80%	4,41%	0,00%	87,02%	Sabbia limosa
RM3 210-213 cm	1,34%	22,91%	19,21%	39,45%	16,90%	0,20%	0,00%	75,75%	Sabbia limosa
RM3 242-245 cm	0,28%	8,64%	16,85%	55,35%	18,75%	0,12%	0,00%	91,07%	Sabbia
RM3 250-253 cm	1,31%	25,17%	21,57%	38,11%	13,79%	0,04%	0,00%	73,52%	Sabbia limosa
RM3 259-262 cm	0,27%	6,99%	7,24%	41,88%	36,34%	7,28%	0,00%	92,74%	Sabbia
RM3 262-265 cm	0,90%	15,11%	13,28%	46,38%	23,48%	0,85%	0,00%	83,99%	Sabbia limosa
RM3 302-305 cm	0,20%	7,91%	6,28%	34,06%	40,56%	10,99%	0,00%	91,89%	Sabbia

Tabella 4 -Appendice A - relativa al sondaggio RM3 (Fig. 8) Zona NO (Fig. 1B). Nella tabella vengono riportati i dati granulometrici per ogni campione analizzato, ottenuti tramite un granulometro della Mastersizer della Malvern.

Campioni	Argilla	Limo	Sabbia molto fine	Sabbia fine	Sabbia media	Sabbia grossolana	Sabbia molto grossolana	Totale sabbia	Litologia
LUL 69-75 cm	2,40%	37,35%	14,63%	27,75%	17,13%	0,57%	0,00%	60,07%	Limo sabbioso
LUL 90-95 cm	7,90%	54,82%	14,74%	8,86%	4,11%	8,86%	0,71%	37,28%	Limo argilloso
LUL 140-160 cm	9,39%	64,84%	12,41%	7,77%	5,17%	0,42%	0,00%	25,77%	Limo argilloso
LUL 160-165 cm	0,77%	15,90%	9,52%	29,65%	29,69%	0,14%	0,47%	83,33%	Sabbia limosa
LUL 176-178 cm	2,25%	33,41%	11,96%	19,22%	19,48%	13,14%	0,54%	64,34%	Limo sabbioso
LUL 185-190 cm	2,11%	29,85%	13,86%	21,23%	20,51%	11,98%	0,46%	68,04%	Limo sabbioso

Tabella 5 Appendice A - relativa al sondaggio LUL (Figg. 10-13) Zona NE (Fig. 1B). Nella tabella vengono riportati i dati granulometrici per ogni campione analizzato, ottenuti tramite un granulometro della Mastersizer della Malvern.

APPENDICE B

OSTRACODI TAXA/CAMPIONI	NTWE2 50-60 cm	NTWE2 60-70 cm	NTWE2 127,5-135 cm
<i>Candonopsis</i> sp.			
<i>Sarscypridopsis ochracea</i>	3	1	
<i>Sarscypridopsis</i> sp.	1		
<i>Physocypris</i> sp.			
<i>Ilyocypris</i> sp.			
<i>Limnocythere inopinata</i> (femmina)	14	4	
<i>Limnocythere inopinata</i> (maschio)		1	
<i>Sclerocypris</i> cf. <i>S. bicornis</i>	1	1	
NUMERO TOTALE_ VALVE OSTRACODI	19	7	
OSTRACODI VALVE RICRISTALLIZZATE/CAMPIONI			
morfortipo A (<i>Limnocythere</i>)	39	45	55
Altri morfotipi	68	87	58
NUMERO TOTALE_ VALVE OSTRACODI	126	139	113

Tabella 1 -Appendice B- relativa al sondaggio NTWE 2 (Fig.8) Zona N (Fig. 1B). Nella tabella viene mostrata la distribuzione quantitativa degli ostracodi per ogni campione analizzato, con il colore relativo alle unità litostratigrafiche di appartenenza con sigle: A (gialla), B (marrone chiaro), C (celeste).

	NTWE3 60-63 cm	NTWE3 69-72 cm	NTWE3 83-86 cm	NTWE3 89-92 cm	NTWE3 100-103 cm	NTWE3 103-106 cm	NTWE3 112-115 cm	NTWE3 132-135 cm	NTWE3 152-155 cm	NTWE3 163-166 cm	NTWE3 172-175 cm	NTWE3 183-186 cm	NTWE3 186-189 cm	NTWE3 192-195 cm
OSTRACODI, TAXA/CAMPIONI														
<i>Candonopsis</i> sp.														
<i>Sarsicypridopsis ochracea</i>		2										2	8	7
<i>Sarsicypridopsis</i> sp.											1		1	1
<i>Physocyprina</i> sp.														
<i>Ilyocypris</i> sp.														
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (femmina)	2	17	1	2					1		2	9	28	26
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (maschio)												6	10	13
<i>Scleroacpris</i> cf. <i>bicornis</i>	3	2	2	2	2			1	4					
NUMERO TOTALE VALVE OSTRACODI	5	21	3	4	2			1	5	5	4	18	46	47
OSTRACODI, VALVE RICRISTALLIZZATE, MODELLI INTERNI/CAMPIONI														
moriotipo A (<i>Limnocythere</i>)	36	34	46	79	46	49		54	41	54	65	45	61	67
Altri morfotipi	72	49	57	104	76	72	78	74	52	72	52	115	75	92
NUMERO TOTALE VALVE OSTRACODI	113	104	106	187	124	121	150	133	98	131	121	178	182	206

Tabella 2 - Appendice B: relativa al sondaggio NTWE 3 (Figg. 9-12) Zona N (Fig. 1B). Nella tabella viene mostrata la distribuzione quantitativa degli ostracodi per ogni campione analizzato, con il colore relativo alle unità litostratigrafiche di appartenenza con sigle: A (gialla), B (marrone chiaro), C (celeste).

	RMS 69-72 cm	RMS 82-85 cm	RMS 130-133 cm	RMS 162-165 cm	RMS 182-185 cm	RMS 219-222 cm	RMS 250-254 cm	RMS 256-259 cm	RMS 270-276 cm	RMS 279-282 cm	RMS 302-305 cm	RMS 316-319 cm	RMS 342-345 cm	RMS 373-376 cm	RMS 379-382 cm
OSTRACODI, TAXA/CAMPIONI															
<i>Candonopsis</i> sp.															
<i>Sarsicypridopsis ochracea</i>															
<i>Sarsicypridopsis</i> sp.															
<i>Physocyprina</i> sp.															
<i>Ilyocypris</i> sp.															
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (femmina)														2	
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (maschio)															
<i>Scleroacpris</i> cf. <i>bicornis</i>										2					
NUMERO TOTALE VALVE OSTRACODI									2	2				2	
OSTRACODI, VALVE RICRISTALLIZZATE, MODELLI INTERNI/CAMPIONI															
moriotipo A (<i>Limnocythere</i>)	32	43	49	46	48	24	21	16	29	44	35	31	27	36	38
Altri morfotipi	45	95	56	66	64	60	68	65	65	65	65	56	65	44	53
NUMERO TOTALE VALVE OSTRACODI	77	138	105	112	112	84	89	81	94	111	100	87	92	82	91

Tabella 3 - Appendice B: relativa al sondaggio RMS (Figg. 8-11) Zona NO (Fig. 1B). Nella tabella viene mostrata la distribuzione quantitativa degli ostracodi per ogni campione analizzato, con il colore relativo alle unità litostratigrafiche di appartenenza con sigle: A (gialla), B (marrone chiaro), C (celeste).

	NTWE3 60-63 cm	NTWE3 69-72 cm	NTWE3 83-86 cm	NTWE3 89-92 cm	NTWE3 100-103 cm	NTWE3 103-106 cm	NTWE3 112-115 cm	NTWE3 132-135 cm	NTWE3 152-155 cm	NTWE3 163-166 cm	NTWE3 172-175 cm	NTWE3 183-186 cm	NTWE3 186-189 cm	NTWE3 192-195 cm
OSTRACODI, TAXA/CAMPIONI														
<i>Candonopsis</i> sp.														
<i>Sarsicypridopsis ochracea</i>		2											2	8
<i>Sarsicypridopsis</i> sp.											1		1	1
<i>Physocyprina</i> sp.														
<i>Ilyocypris</i> sp.														
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (femmina)	2	17	1	2					1		2	9	28	26
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (maschio)										5	1	6	10	13
<i>Scleroacpris</i> cf. <i>bicornis</i>	3	2	2	2	2			1	4					
NUMERO TOTALE VALVE OSTRACODI	5	21	3	4	2			1	5	5	4	18	46	47
OSTRACODI, VALVE RICRISTALLIZZATE, MODELLI INTERNI/CAMPIONI														
moriotipo A (<i>Limnocythere</i>)	36	34	46	79	46	49		54	41	54	65	45	61	67
Altri morfotipi	72	49	57	104	76	72	78	74	52	72	52	115	75	92
NUMERO TOTALE VALVE OSTRACODI	113	104	106	187	124	121	150	133	98	131	121	178	182	206

Tabella 2 - Appendice B: relativa al sondaggio NTWE 3 (Figg. 9-12) Zona N (Fig. 1B). Nella tabella viene mostrata la distribuzione quantitativa degli ostracodi per ogni campione analizzato, con il colore relativo alle unità litostratigrafiche di appartenenza con sigle: A (gialla), B (marrone chiaro), C (celeste).

OSTRACODI_TAXA/CAMPIONI	LUL 69-75 cm	LUL 90-95 cm	LUL 140-160 cm	LUL 160-165 cm	LUL 176-178 cm	LUL 185-190 cm
<i>Candonopsis</i> sp.	2	5				
<i>Sarscypridopsis ochracea</i>	5	3	28			
<i>Sarscypridopsis glabrata</i>	4					
<i>Sarscypridopsis</i> sp.	5		15			
<i>Physocypris</i> sp.	1	1				
<i>Ilyocypris</i> sp.			2			
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (femmina)	4	11	1			
<i>Limnocythere</i> gr. <i>inopinata</i> (maschio)	19	7				
<i>Sclerocypris</i> cf. <i>bicornis</i>						
NUMERO TOTALE_VALVE OSTRACODI	40	27	46			
OSTRACODI_VALVE RICRISTALLIZZATE MODELLI INTERNI/CAMPIONI						
morfotipo A (<i>Limnocythere</i>)	57	51	18	54	64	45
Altri morfotipi	69	55	76	55	70	65
NUMERO TOTALE_VALVE OSTRACODI	206	160	186	109	134	110

Tabella 5 -Appendice B- relativa al sondaggio LUL (Fig. 10-13) Zona NE (Fig. 1B). Nella tabella viene mostrata la distribuzione quantitativa degli ostracodi per ogni campione analizzato, con il colore relativo alle unità litostратigrafiche di appartenenza con sigle: A (gialla), B (marrone chiaro), C (celeste).

Ringraziamenti.

Ringrazio ME STESSO, per la tenacia dimostrata in ogni situazione in questi meravigliosi 6 anni.

Ringrazio la mia famiglia “beato chi ha una bella famiglia”è il mio caso! Grazie!!!

Ringrazio il mio grande amico Rory...senza di lui in Africa e in generale sarebbe stata difficile!

Ringrazio il grande Fulvio Franchi, sempre sul pezzo con un cuore enorme!....e grazie per avermi fatto dire: ”mamma mia quanto è bella l’Africa.

Ringrazio la Prof Veronica... semplicemente stupenda, gentilissima, anche di fronte a un tipo assillante come me.

Ringrazio i tecnici del laboratorio di ingegneria che ci hanno fatto sentire come casa nostra.

Infine ringrazio il prof Giorgio Gasparotto e la Maria Roberta Randi per l’aiuto dato a SEM.

“Infine infine ringrazio le persone di cuore, che non si fermano, che non si fanno atterrare e nel momento in cui vedono un loro simile, sono pronte! Grazie a tutti !!”